

This volume was digitized through a
collaborative effort by/ este fondo fue
digitalizado a través de un acuerdo
entre:

Biblioteca General de la
Universidad de Sevilla

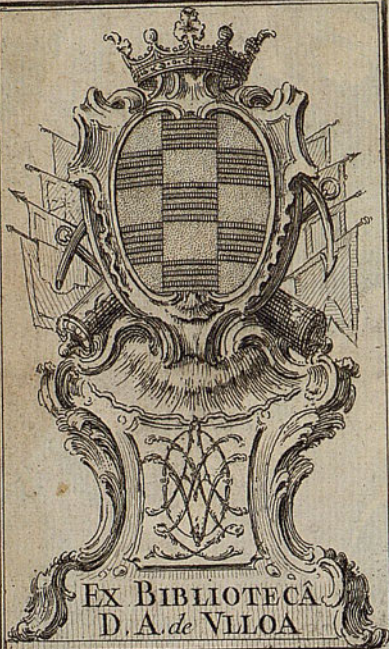
www.us.es

and/y

Joseph P. Healey Library at the
University of Massachusetts Boston
www.umb.edu







EX BIBLIOTECÂ
D. A. de VILLOA

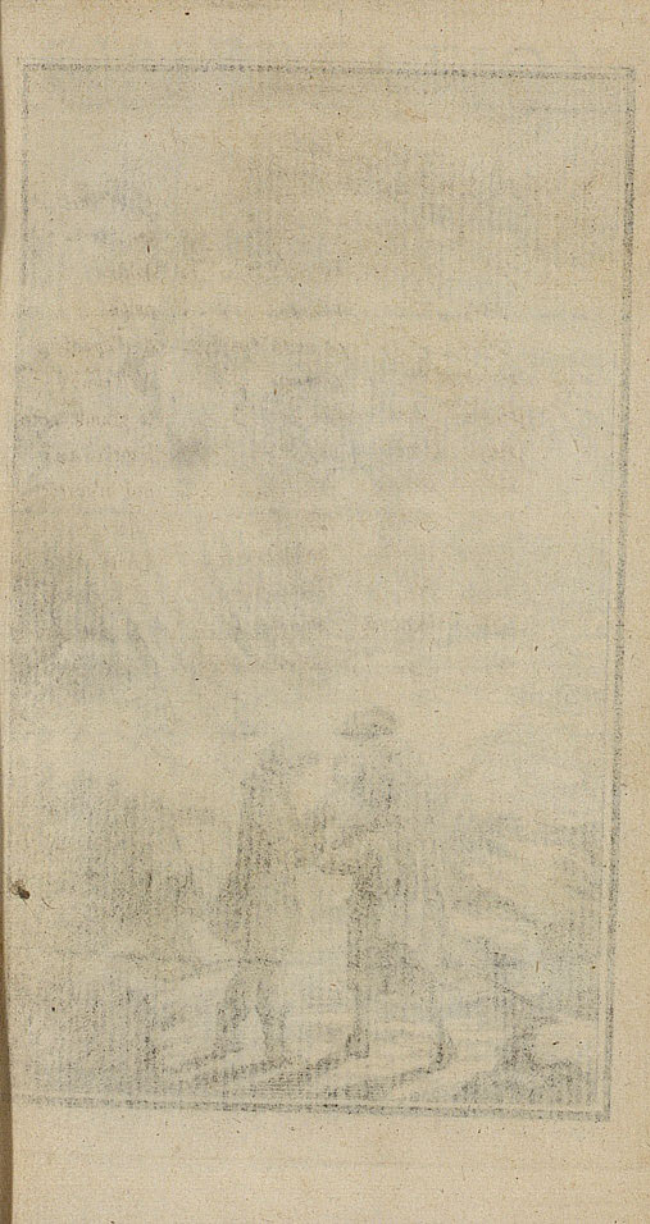


278-22

Int 278

n^o - 22







DISSERTATION
S U R
LA GLACE,
O U

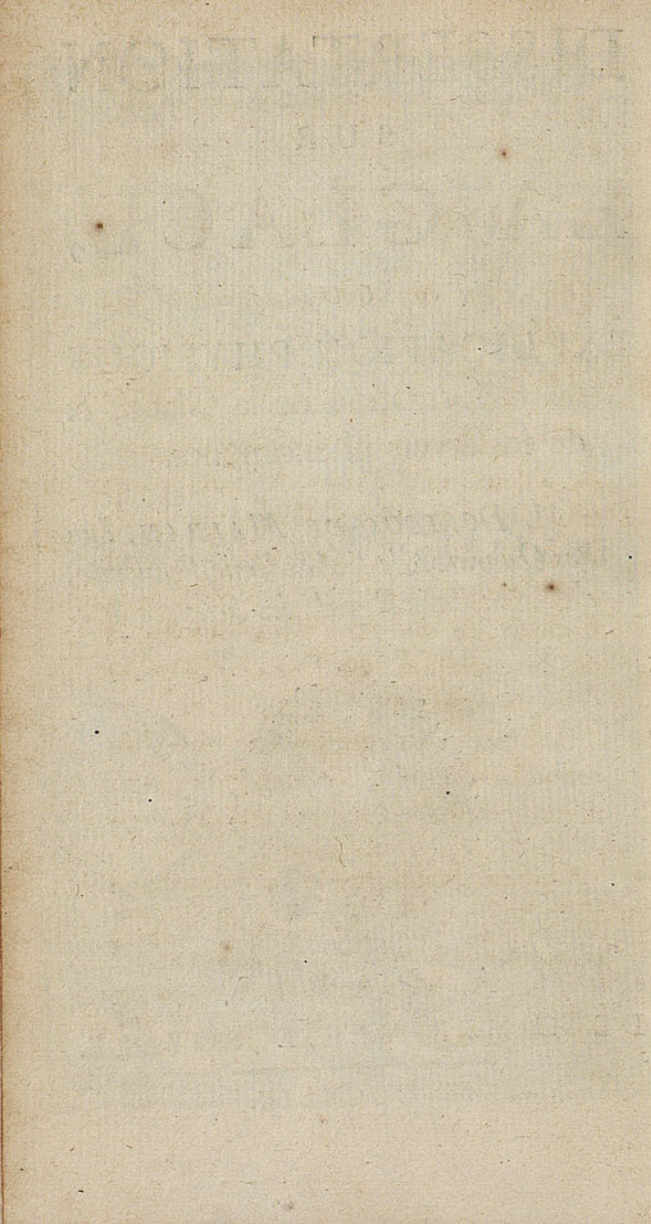
EXPLICATION PHYSIQUE
de la formation de la Glace, &
de ses divers phénomènes.

*Par M. DORTOUS DE MAIRAN, l'un
des Quarante de l'Académie Française,
de l'Académie Royale des Sciences, &c.*



A PARIS,
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

M. DCCXLIX.





PREFACE

Qui a été lûe dans l'Assemblée publique de l'Académie Royale des Sciences, du 13 Novembre 1748.

CET Ouvrage fut écrit il y a trente-deux ans *, dans le fond d'une province où je résidois, à cent cinquante lieues de Paris, & par conséquent bien loin des secours qu'on trouve dans cette Capitale, & sur-tout dans l'Académie des Sciences, où j'eus l'honneur d'entrer deux ans après.

Les connoissances que j'ai acquises dans cette Compagnie, & mes réflexions, m'ont appris combien ces grandes ques-

* Imprimé pour la première fois à Bordeaux la même année, 1716, où il remporta le Prix proposé par l'Académie royale des Belles-Lettres, Sciences & Arts de cette ville. Réimprimé à Béziers en 1717, & à Paris en 1730, dans le second volume du Recueil intitulé, *Les vertus médicinales de l'eau commune.*

tions de Physique, qui tiennent aux premiers ressorts de la machine du Monde, & du nombre desquelles est, à mon avis, la question de la Glace, sont vastes & difficiles. On diroit cependant à en juger par le commencement de ma Dissertation, que je voyois assez bien dès-lors toute l'étendue & toute la difficulté de mon sujet. Je ne m'en expliquerois pas autrement aujourd'hui; mais il est certain que je les sentirois mieux, ou que du moins j'agirois plus conséquemment, en gardant le silence.

Je redonne donc ici un ouvrage que je n'oserois entreprendre, si j'étois à le commencer, & que je donnerois encore moins sous cette forme de traité complet & systématique, qui suppose tant de connoissances qui nous manquent, ou que nous n'avons qu'imparfaitement. Je me bornerois à quelques morceaux détachés, aux faits, aux observations & aux expériences; & si j'avois à faire mention de l'hypothèse, ce ne seroit qu'en passant, par voie d'induction & de conjecture. Car les faits, les observations & les

expériences font la plus grande partie de cette Dissertation, & je me flatte quelquefois qu'en leur faveur on me pardonnera tout le reste. C'est dans cet esprit que j'ai soigneusement retouché mon ouvrage, & que je l'ai augmenté de plus du double.

J'en reviens cependant à cette forme systématique, & pour le dire sans détour, à mon système. Je crains qu'il ne m'enlève des suffrages qui me seroient précieux : car système ou chimère semblent être aujourd'hui termes synonymes dans la bouche de bien des personnes, d'ailleurs habiles, & qui se distinguent par leurs ouvrages. *C'est un système*, fait souvent la critique entière d'un livre; se déclarer contre les systèmes, & assurer que ce qu'on va donner au public n'en est pas un, est devenu un lieu commun des préfaces.

Oserai-je après cela employer une partie de celle-ci à montrer qu'on a porté là-dessus le préjugé au delà de ses justes bornes, & d'autant plus, qu'il a un air de solidité & de maturité d'esprit, qui

impose; en un mot, qu'il s'en faut bien que les systêmes, quelquefois même les plus hasardés, soient aussi contraires à l'avancement des Sciences, & aussi infructueux qu'on se le persuade communément.

Chaque siècle a son opinion dominante, sa méthode & sa manière de philosopher. Peut-être que nos prédécesseurs faisoient trop de cas des systêmes, & qu'ils s'y livroient trop aisément; mais, quoiqu'en matière de Physique & de Sciences humaines, ce soient presque toujours les dernières opinions qui méritent la préférence, il est bon d'observer qu'on ne manque guère de les outrer, ne fût-ce que pour les opposer davantage à celles du siècle antérieur. Il semble que l'esprit humain se flatte de racheter par-là ses anciens égaremens, & qu'il y entre même un peu de dépit. Descartes y auroit perdu, s'il avoit trouvé le monde moins entêté d'Aristote; Newton a gagné dans ce qu'on avoit accordé de trop à Descartes.

On allègue ordinairement contre les

systèmes l'insuffisance de nos lumières ; que les secrets de la Nature seront toujours impénétrables pour nous, que notre intelligence est trop bornée pour y rien comprendre , que la Nature ne nous montre que des effets, qu'elle a étendu un voile épais sur les causes , & qu'elle se rit de nos vains efforts.

Mais le point de division entre les connoissances où nous pouvons aspirer , & celles qui nous sont interdites, entre les effets & les causes qui se compliquent sans cesse, est-il si bien marqué dans la Nature, qu'on ne puisse pas s'y méprendre ? Ceux qui nous condamnent à une éternelle ignorance des premiers principes , ont-ils donc si parfaitement vû le fond des choses, qu'il n'y ait plus d'exception , ni de révision à proposer après eux ? Ce qui est certain , c'est qu'il faut en savoir beaucoup pour décider ainsi de la portée de l'esprit humain, présent & à venir.

A ces discours vagues & équivoques on ne manque pas d'ajouter une foule d'exemples, tant anciens que modernes,

une ample énumération des extravagances philosophiques que la licence des systèmes a produites : comme si la Philosophie, ainsi que l'Histoire, n'avoit pas dû avoir ses temps fabuleux qui ne tirent point à conséquence pour les siècles éclairés, & si dans ces siècles mêmes les plus éclairés une infinité de rêveries stériles ne devoient pas toujours l'emporter sur le petit nombre d'idées saines dont les Sciences pourront profiter.

On peut, je l'avoue, abuser des systèmes, & l'on en a souvent abusé. Mais qu'y a-t-il de louable & d'utile, qu'avons-nous d'excellent qui ne soit pas susceptible d'abus ? N'abuse-t-on pas des expériences si elles ne sont conduites par la méthode, & éclairées du raisonnement ? C'est presque dire si elles ne sont accompagnées de l'esprit systématique : car tout raisonnement renferme quelque idée générale applicable au sujet, quelque principe de spéculation qui s'y rapporte, &, s'il s'agit d'expériences, quelque supposition tacite de ce qu'elles doivent donner étant bien faites.

Rappelions-nous les expériences de M. Newton sur la lumière & les couleurs ; non comme on les voit rassemblées & rédigées dans son Optique en ordre de synthèse, car ce n'est pas alors qu'il les imaginoit ; mais telles qu'on les trouve répandues dans les Transactions philosophiques, en divers temps, lorsqu'il les cherchoit ou qu'elles se présentoient à sa recherche. On les y verra naître les unes des autres, à la faveur d'une analyse exacte, & presque toujours en conséquence de quelque réflexion systématique.

En vain dira-t-on que *l'esprit systématique a fait tomber de tout temps les Philosophes dans les plus grandes erreurs.* Cet esprit n'en est pas moins tout ce qu'il y a en nous de plus précieux, de plus nécessaire pour arriver aux connoissances les plus sublimes, comme pour exécuter les plus grandes choses. Car en quoi consisteroit-il cet esprit, si ce n'est dans une disposition naturelle tournée en habitude à nous faire un plan raisonné de notre objet, un tout de ce qui le compose,



d'après ce qui nous en est connu, pour monter de-là par degrés à ce que nous en ignorons, & qu'il nous est important d'en connoître? On abuse des termes lorsqu'on l'entend autrement, & de cet esprit même, lorsqu'on s'en sert à forger des systèmes & des hypothèses sans nécessité & sans examen.

Rien n'est plus prudent & plus sage que de s'occuper des faits avant que de passer à la recherche des causes, & de s'en occuper uniquement & pour toujours, quand on désespère de réussir dans tout autre genre. Nous ne saurions trop louer ceux qui ont pris cette route, & qui y marchent avec succès; mais on ne peut disconvenir en même temps qu'une conduite toute contraire ne nous ait procuré mille nouvelles vûes & d'importantes découvertes. Ceux de qui nous tenons le plus de vérités philosophiques ont presque tous mérité le titre, ou, si l'on veut, le blâme de gens à système. Combien n'y aurions-nous pas perdu s'ils avoient été plus circonspects ou plus timides!

Le génie de l'invention veut être échauffé, même dans les Sciences exactes; il a souvent besoin d'une espèce de verve qui l'anime & qui le développe. Il est plus que probable que Képler n'auroit jamais pensé à la fameuse Règle qui l'immortalise, si elle n'étoit venue à l'appui, si elle n'étoit sortie comme d'elle-même de son système harmonique des Cieux, tout fondé sur l'inscription des orbes planétaires aux cinq corps réguliers des Géomètres, & sur je ne sais quelles perfections pythagoriques des nombres, des figures & des consonances. Système mystérieux dont il s'occupa depuis sa première jeunesse jusqu'à la fin de ses jours, auquel il rapporta tous ses travaux, qui en fut l'ame, & qui nous a valu la plus grande partie de ses observations & de ses écrits.

Si des systèmes douteux ou chimériques peuvent quelquefois nous procurer des connoissances utiles, si des idées infructueuses par rapport à leur objet ont été l'occasion de plusieurs découvertes, que penserons-nous des systèmes que la

Nature a constamment avoués, & qui sont eux-mêmes autant de découvertes capables de se multiplier? Faudra-t-il les ranger sous une autre classe, leur donner un autre nom, & les bannir de la question présente? Oui, me répondra-t-on; ce sont des vérités de fait avérées & non des systèmes. Je veux bien les nommer ainsi; mais la plus grande partie de ces vérités de fait qui nous sont aujourd'hui si précieuses, & sur lesquelles on n'hésite point, n'ont-elles pas presque toujours commencé par n'être rien moins que certaines ou connues pour telles? Il a donc fallu du courage, de l'obstination même pour ne les point abandonner, pour en chercher ou pour en attendre les preuves, & s'exposer en attendant au reproche d'homme à système: il a donc été un temps où ces vérités n'étoient que de vrais systèmes dans la signification la moins favorable, en un mot, de ces systèmes pernicieux à l'avancement des Sciences, & qu'il faut proscrire, si l'on en croit quelques Auteurs.

Combien de contradictions la Circu

lation du sang n'a-t-elle pas souffertes!

Le système Copernicien, dont la magnifique idée n'a guère moins étendu notre esprit, qu'elle a agrandi l'Univers, & dont on fait remonter l'origine jusqu'à la plus reculée antiquité, n'a-t-il pas éprouvé de semblables & de plus puissantes contradictions pendant une longue suite de siècles, & presque de nos jours? Que pouvoit-il être d'abord, en effet, qu'un hardi paradoxe, qu'une hypothèse purement conjecturale, une simple analogie démentie par nos sens, & qui ne manqua pas sans doute de couvrir de ridicule celui qui la soutint le premier?

Du système Copernicien suivoit naturellement la Gravitation universelle, la pesanteur des parties du Soleil & de tout ce qui l'environne, de même que des Planètes & de tous les Astres quelconques vers leurs propres centres, qu'on n'accordoit qu'à la Terre. Copernic ne l'ignora pas, & il osa l'avouer. Autre système, qui ne pouvoit faire fortune en un temps où l'on étoit persuadé que toutes les parties de ce vaste Univers devoient

tendre vers la Terre , & se rapporter à la Terre, comme à l'unique habitation des êtres intelligens, dont ce partage auroit blessé la dignité. Mais le préjugé cède enfin aux découvertes qui se succèdent : la Terre n'est plus qu'une planète huit à neuf cens fois plus petite que Jupiter ou Saturne, & la Gravitation universelle, ou l'Attraction prise en tel sens qu'on voudra, devient le fondement de toute la Physique céleste Newtonienne, l'un des chefs-d'œuvre de notre siècle. Sans compter mille expériences, mille recherches curieuses & utiles dont nous sommes entièrement redevables aux efforts qu'on a faits pour établir de plus en plus cette Attraction. Car le simple desir de savoir n'inspirera jamais la même ardeur, qu'un intérêt personnel ou national à défendre, qu'un système à soutenir, & son contraire à réfuter.

Ajoûtons que différens esprits doivent envisager la Nature par différens côtés ; qu'il faut nécessairement, qu'il est à désirer que chacun cède à l'attrait qui le domine, & qui annonce le talent ; que

les uns s'appliquent à constater les faits, & que les autres s'attachent à remonter vers les causes, ou à descendre des causes, même inconnues & simplement supposées, jusqu'aux effets. Ce que la règle de fausse position est dans le calcul, une hypothèse heureusement hasardée l'est quelquefois en Physique; elle nous découvre, si ce n'est le vrai, du moins quelque circonstance qui s'y rapporte, & qui pourra nous aider un jour à le découvrir.

Enfin il ne faut que parcourir l'histoire de l'esprit humain dans ce qui tient aux Sciences naturelles, pour se convaincre que les systèmes ont été dans tous les temps une source féconde de découvertes, ou tout au moins d'observations & d'expériences dont on ne se seroit peut-être jamais avisé, s'ils n'en avoient fait naître l'idée. Eh qu'importe que les systèmes nous exposent quelquefois à prendre de fausses lueurs pour la lumière? Tel a été le sort des plus grands hommes, de ces hommes nés pour redresser leur siècle; ils n'ont pas toujours évité eux-

mêmes de s'égarer, ils n'ont pû arracher la vérité du milieu des ténèbres, sans entraîner avec elle quelques erreurs; mais les vérités nous demeurent, & les temps dissiperont les erreurs.

Je n'insisterai pas davantage sur l'utilité des systêmes, à la tête d'un livre qui pourroit bien fournir un nouveau champ pour les combattre. J'ai voulu seulement faire sentir l'excès où il me semble qu'on a porté un préjugé quelquefois utile, sans prétendre éluder par-là les difficultés qu'on peut me faire contre une hypothèse & des explications qui embrassent en un sens tout le systême du Monde. Mais puisque mon ouvrage est public, & qu'il va reparoître dans cette quatrième Edition, je crois devoir encore donner ici quelque éclaircissement sur la *Matière subtile* que j'y ai mise en œuvre, & sur laquelle tombera peut-être la principale de ces difficultés.

La Matière subtile a subi le sort des Systêmes, & par les mêmes raisons; on n'oseroit presque plus l'avouer, & peu s'en faut que le nom n'en soit entière-

ment banni des livres de Physique. Je souscris à sa condamnation, si l'on entend par-là le premier élément de Descartes sans restriction, & plus encore s'il s'agit de ces globules durs & inflexibles dont il remplissoit l'Univers, & que je crois insoutenables. Mais je ne pense pas qu'on ait voulu exclure avec la matière subtile Cartésienne, tout fluide subtil qui pénètre les corps, tout agent invisible, quoique matériel, comme cause d'une infinité de phénomènes qui frappent nos sens. Je me flatte, dis-je, que la matière subtile qui fait le fond de mon hypothèse, ne sera pas rejetée de la Nature, dans un temps où des expériences aussi surprenantes qu'incontestables nous décèlent un fluide dont l'activité se fait sentir en un instant à deux mille toises du lieu où il est mis en action. Car seroit-ce un être métaphysique, ou le néant de matière, qui auroit besoin d'un véhicule matériel, d'une corde ou d'une chaîne, pour se transmettre au delà du Tube ou de la Machine électrique, pour y attirer & y repousser alternativement de petits corps,

& pour frapper un animal d'un coup qui ne diffère presque pas de celui de la foudre ?

Les causes premières & mécaniques des effets de la Nature ne nous sont si cachées, qu'en ce qu'elles agissent par ces fluides subtils & invisibles, ou par quelque fluide universel qui opère sous mille aspects différens : & il n'y a pas de doute, que si les loix du mouvement de ce fluide, ou de ces fluides, nous étoient connues, on ne donnât raison d'un grand nombre de phénomènes que les expériences ne nous représentent que très-imparfaitement.

Mais en savons-nous assez sur ce principe actif & invisible, pour pouvoir l'employer dans nos recherches, ne fût-ce que par voie d'essai & de conjecture ? Y a-t-il quelque utilité à espérer d'une pareille tentative ? Il faut bien que Newton, que le sage & solide Newton ne l'ait pas jugée téméraire, lui qui nous en fournit tant d'exemples.

Je ne parlerai pas de ceux qu'on peut recueillir de sa grande lettre à M. Boyle, écrite en 1678, & imprimée depuis peu

avec la vie de cet illustre Physicien qui a lui-même si souvent employé ce fluide actif, & les atmosphères insensibles des corps, sur quoi roule toute cette lettre. On croiroit peut-être que M. Newton s'est volontiers donné carrière là-dessus avec un ami, & qu'il a hasardé dans le particulier ce qu'il n'auroit pas voulu rendre public. Mais que pensera-t-on de la manière dont il s'en est expliqué quarante ans après dans son Optique, sur diverses questions qu'il y propose, & enfin sur le grand phénomène de la Pesanteur. *J'ai inséré*, dit-il, dans l'avertissement ajouté à la seconde édition de cet excellent ouvrage, *j'ai inséré quelques nouvelles questions à la fin de mon troisième livre. Et de peur que quelqu'un ne pense que je mets la Pesanteur au nombre des propriétés essentielles des corps, j'en ai ajouté une en particulier sur la cause de ce phénomène.* Or on fait que cette question, ou, comme il la nomme ailleurs, cet essai d'explication, porte entièrement sur l'hypothèse d'un fluide subtil, élastique & comprimant, répandu dans tout l'Univers.

Il ne s'agit point ici d'examiner plus particulièrement l'explication de M. Newton, ce que nous en devons penser, ni en quoi elle pourroit être, ou n'être pas préférable à celles de Descartes, de Malebranche, & de quelques autres auteurs. Je remarque seulement que lorsque les plus grands Philosophes ont tant fait que de vouloir expliquer certains effets généraux de la Nature par une cause intelligible (& ils l'ont tous voulu) ils ont été contraints d'avoir recours à quelque semblable fluide, & qu'ils n'ont fait nulle difficulté de s'en servir. Eh comment concevoir sans cela, que des corps qu'on voit ne se pas toucher pussent agir les uns sur les autres ? Il faut bien que quelque agent intermédiaire supplée à l'impulsion, & opère en effet l'impulsion ; sans quoi, comme dit fort bien M. Locke, *ce seroit autant que d'imaginer qu'un corps pût agir là où il n'est pas*. Les Savans ont beau se diviser, il n'y a pas deux manières de philosopher pour ceux qui sont équitables & véritablement philosophes ; il s'agira toujours de

ramener nos recherches aux notions les plus claires & les plus simples, d'après les faits, & l'inspection réfléchie de la Nature.

J'admets donc la matière subtile dans cet esprit, & avec toutes les qualifications dont M. Newton l'accompagne dans son Optique, *de fluide actif, infiniment subtil, d'Ether répandu dans les Cieux & sur la Terre par son élasticité, & traversant librement les pores de tous les corps.*

Du reste je ne me suis point engagé dans la discussion, s'il y a du vuide entre les interstices de cette matière, comme le prétend M. Newton, ou si, subdivisée à l'infini, elle forme un Plein absolu, comme le supposent Descartes & le P. Malebranche. Cette question est à mon avis plus métaphysique que physique, & je crois qu'on peut s'en passer, je ne dis pas seulement dans celle de la glace, mais dans toutes les autres questions purement physiques. Car de quelque manière qu'on l'entende, il faudra toujours en venir à de petits espaces, ou vuides, ou remplis de quelqu'autre fluide plus subtil, &, pour ainsi dire, indifférent à celui dont le

jeu produit le phénomène en question; ce qui revient au même que le *vuide disséminé* de ces petits espaces. C'est ainsi que lorsqu'il ne s'agit que de l'air, par exemple, son élasticité étant donnée, & d'expliquer seulement les phénomènes qui en dépendent, il est presque toujours inutile de faire attention à la matière éthérée qui remplit les interstices de l'air.

Un semblable raisonnement doit me dispenser d'entrer dans aucun détail sur la cause de la dureté ou de la cohésion primitive des parties des corps, que j'attribue avec quelques Philosophes aux pressions d'une matière subtile ou de ce fluide élastique qui environne les corps & qui pénètre plus ou moins dans leurs pores. Autre question pareillement métaphysique dès qu'on veut la pousser jusqu'à ses derniers termes. En supposant l'existence de ce fluide, comme je fais par voie de demande & d'hypothèse, je n'entreprends nullement d'expliquer à son égard le mécanisme par lequel il m'aide lui-même à donner raison de la cohérence des élémens plus grossiers de la

matière dure ou fluide qui tombe sous nos sens; car il n'y auroit plus de fin à une pareille recherche. On conçoit assez en général que la pression de l'Éther ou de quelqu'autre fluide élastique, plus subtil que l'air, peut unir ensemble les élémens d'une particule d'air, comme on conçoit que l'air ambiant unit & presse l'un contre l'autre les deux hémisphères d'un globe creux dont on a pompé l'air. Mais quelle autre matière subtile unit entr'elles avec une force quelconque, les élémens de chaque particule de la première? Car qui dit matière, dit parties, dont l'idée ne renferme celle d'aucun lien, à moins que ce lien ne soit composé lui-même d'autres parties qui ont le leur, & ainsi de suite à l'infini.

C'est apparemment de l'impossibilité d'arriver à cet infini par une semblable voie, & en quelque sorte de l'épuiser, que la doctrine des atomes ou des parties essentiellement dures & *insécables* de la matière a pris naissance. Mais peu nous importe dans le cas présent de quelque manière qu'on pense sur ce sujet. Il suffit

que les forces actuelles du tourbillon solaire ou terrestre que nous habitons, aidées de tout notre art, n'aient pû jusqu'ici nous montrer la décomposition de certains corps au delà de leurs parties intégrantes, c'est-à-dire, au delà de celles qui donnent ces mêmes corps par la récomposition, & sans lesquelles ils cesseroient d'être ce que les expériences nous indiquent manifestement qu'ils sont; ainsi qu'il arrive à l'or, au mercure, & à quelques autres substances réputées indestructibles.

La Physique proprement dite, & l'Infini renferment des idées contradictoires. On ne sauroit approfondir ces questions abstraites, du vuide & du plein, de l'espace, de la cohésion primitive des parties de la matière, de l'origine du mouvement, sans remonter jusqu'à la cause des causes, à la cause vraiment active & efficiente, en un mot jusqu'au premier Etre, & l'on peut dire en ce sens, que toute la Physique, tout ce qu'en embrasse l'objet soumis à nos recherches, n'est qu'un corollaire de la Nature.

Le Physicien qui ne veut point passer les bornes qui lui sont prescrites en tant que tel, peut donc hardiment regarder le vuide hypothétique dont nous venons de parler, le mouvement, la cohésion des parties de la matière, & les parties intégrantes des corps, comme autant de données, à raison du sujet qu'il traite. Il a rempli sa tâche, si, en partant de ces principes, il arrive de conséquence en conséquence, jusqu'à la cause prochaine des effets naturels qu'il s'étoit proposé d'expliquer : de même que le Mécanicien ou l'Horloger de qui nous attendions l'explication d'une horloge, est censé s'être acquitté envers nous, lorsqu'en passant de l'aiguille ou du balancier à tout le reste de la machine, il nous a conduits jusqu'au poids ou jusqu'au ressort qui en est le premier moteur ; sans s'inquiéter autrement de la cause de la Pesanteur, ou de celle du Ressort. En demander davantage, se décourager, & décourager ceux qui travaillent, par la raison, fût-elle incontestable, que nous ne saurions aller plus loin, seroit fermer l'entrée à mille con-

noissances utiles dans la vie, & infiniment satisfaisantes pour l'esprit.

Après cette digression que je n'ai pas crue étrangère à mon sujet, & avant que de finir sur la matière subtile qui m'y a amené, je dois avertir, que si l'on m'accorde ce fluide actif & élastique, cause invisible de tant de phénomènes, & selon moi, de la congélation & de la fusion, on m'accordera peut-être plus qu'on ne pense. C'est-à-dire, que dès qu'on voudra attacher une idée claire & distincte à ce fluide, on tombera nécessairement dans l'hypothèse des petits tourbillons dont le P. Malebranche a composé la matière éthérée. Mais que fera-t-on encore en cela, que ce que nous devons présumer qu'a fait M. Newton?

Quand ce Philosophe a voulu nous donner une explication mécanique de la Pesanteur, il n'a pas prétendu sans doute, que le moyen qu'il y employoit, que son fluide élastique fût exempt de mécanisme; il n'a pas voulu expliquer une chose obscure par une autre aussi obscure, admettre l'élasticité essentielle

de la matière, pour faire voir qu'il n'admettoit pas la pesanteur essentielle de la matière. Il a donc tacitement admis les petits tourbillons: car j'ose avancer que tout autre principe d'élasticité ou de ressort dans un fluide est inintelligible. La force primitive du ressort ne peut être qu'une force centrifuge; la force centrifuge ne peut exister que par le mouvement de la matière autour d'un centre ou autour d'un axe, & de ce mouvement naissent les tourbillons. Donc il est inconcevable qu'il y ait dans la Nature un fluide primitivement & mécaniquement élastique, s'il n'est composé de petits tourbillons. Donc M. Newton, en admettant un fluide primitivement élastique, a tacitement admis les petits tourbillons.

Et la matière du feu élémentaire de Boerhaave, de quoi seroit-elle composée, si ce n'est de semblables tourbillons ou globules élastiques? Cet illustre Médecin a montré par mille expériences & par autant de judicieuses réflexions dont sa Chymie est remplie, que la matière du feu étoit répandue dans tous les

corps, tant fluides que solides, où elle n'avoit besoin que de certaines circonstances pour se manifester à nos sens; qu'elle étoit toujours plus ou moins en mouvement, que son caractère distinctif, & auquel se réduisent tous les autres, étoit le ressort, l'expansion & la propriété de raréfier & de dilater tous les corps. Aussi ne trouverois-je nul inconvénient à la prendre pour la matière subtile que j'ai adoptée dans ma Dissertation sur la Glace, elle en a toutes les propriétés, & elle en remplit parfaitement les fonctions.

Il résulte donc de tout ce que nous venons d'observer sur ce fluide qui anime tous les autres fluides, & qui pénètre tous les solides, que quelque différentes que soient en apparence les idées qu'on s'en est faites, elles concourent toutes à l'admettre, & à lui accorder une subtilité indéfinie, l'activité & l'élasticité. Je ne l'admets aussi que sous ce point de vûe général; & c'est tout ce que j'avois à en dire par rapport à mon sujet.

Je passe sous silence quelques autres

avertissemens plus particuliers & moins importans, qui trouveront leur place dans l'ouvrage même. J'ajouterais seulement ici, qu'en suivant mon premier plan, car je n'ai pas cru devoir m'en écarter, j'ai hasardé encore bien des conjectures dont je me serois peut-être abstenu en toute autre rencontre; mais je les donne sans peine, dans la persuasion où je suis qu'elles pourront fournir matière à de nouvelles observations & à de nouvelles expériences.



attentivement plus particuliers & moins
importans, qui nous ont tenu place dans
l'ouvrage, me l'ajoutant tout en cet
instant, j'aurai mon premier plan, car je
n'ai pas cru devoir m'en écarter. J'ai
laide encore bien des conjectures dont je
me tiens peut-être assés en toute asse-
ranteur : mais je les donne sans peine,
dans la persuasion qu'il y en a quelques-unes
qui donneront lieu à de nouvelles obser-
vations & à de nouvelles expériences.



TABLE
DES CHAPITRES

Contenus dans ce Volume.

PREMIERE PARTIE.

DE la Formation de la Glace. page 5

CHAPITRE I. *Définitions, principes & remarques sur la nature des Fluides & des Liquides.* 6

CHAP. II. *Mouvement intestin des Liquides déduit de leurs E'vaporations.* 9

CHAP. III. *Suite des Définitions, Principes & Remarques sur la nature des Fluides & des Liquides.* 17

CHAP. IV. *D'où vient que les Liquides ne se dissipent pas en un instant, & que leurs parties résistent un peu à la désunion; & comment se conserve l'équilibre entre ces parties, la matière subtile qui les environne & qui les pénètre, & la matière subtile du dehors.* 22

CHAP. V. *Formation de la Glace.* 29
b iij

T A B L E.

- CHAP. VI. *Idée générale du chaud & du froid, de l'été & de l'hiver, appliquée à la formation de la Glace.* 30
- CHAP. VII. *Par quels degrés on peut imaginer que la matière subtile diminue d'activité dans un liquide qui se gèle.* 38
- CHAP. VIII. *Des causes accidentelles & locales de la Congélation. Et premièrement du Nitre & des autres sels contenus dans les terres & exaltés dans l'air.* 42
- CHAP. IX. *Seconde cause accidentelle de la Congélation, le Vent.* 51
- CHAP. X. *Troisième cause accidentelle de la Congélation & des Gelées, la suppression ou la diminution des vapeurs chaudes qui s'élèvent du sein de la Terre.* 55
- CHAP. XI. *Du Feu central ou intérieur de la Terre; & des principaux phénomènes qui en dépendent.* 57
- CHAP. XII. *Effets sensibles du Feu central dans la Mer, & sur les eaux de la Mer.* 66
- CHAP. XIII. *Autres effets du Feu intérieur quelconque de la Terre.* 72
- CHAP. XIV. *Circonstances extérieures & locales qui se compliquent avec l'émanation, & avec la suppression des vapeurs du Feu central.* 78

T A B L E.

CHAP. XV. <i>Application du principe des vapeurs centrales à la Congélation & à la Gelée.</i>	84
CHAP. XVI. <i>De la différence des congélations, selon la différence des liquides, en général.</i>	85
CHAP. XVII. <i>Des liquides qui ne se gèlent point, ou qui ne se gèlent que difficilement.</i>	87
CHAP. XVIII. <i>De la Coagulation.</i>	96

SECONDE PARTIE.

<i>Des principaux phénomènes de la Glace.</i>	103
-----------------------------------------------	-----

SECTION PREMIERE.

Des phénomènes de la Glace dans ses commencemens, & pendant tout le cours de sa formation.

CHAPITRE I. <i>Des premiers filets de la Glace.</i>	ibid.
-----------------------------------------------------	-------

CHAP. II. <i>Comment les filets de glace se joignent aux parois du vaisseau & entr'eux, & des figures qui en résultent.</i>	112
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

CHAP. III. <i>Des bulles d'air qui se forment</i>	
---------------------------------------------------	--

T A B L E.

dans l'eau quand elle commence à se geler, & des divers effets qu'elles y produisent. 117

CHAP. IV. *Augmentation du volume de l'eau quand elle approche de sa congélation, & pendant sa congélation.* 122

CHAP. V. *Trois causes de l'augmentation de volume de l'eau pendant la congélation. Première cause, les bulles sensibles d'air qui s'y forment.* 126

CHAP. VI. *Seconde cause de l'augmentation de volume pendant la congélation, le dérangement qui survient aux parties intégrantes de l'eau, par la sortie ou le dégagement de l'air d'entre leurs interstices.* 139

CHAP. VII. *De l'angle sous lequel les particules de glace & les parties intégrantes de l'eau affectent de s'unir & de s'assembler entr'elles pendant la congélation.* 144

CHAP. VIII. *Exemples & inductions en faveur de cette tendance.* 152

CHAP. IX. *Preuves directes de la tendance des parties de l'eau à s'assembler sous un angle de 60 degrés.* 160

CHAP. X. *Troisième cause de l'augmentation de volume de l'eau dans sa congélation, le dérangement des parties en vertu de leur tendance à former entr'elles un angle de 60 degrés.* 169

T A B L E.

CHAP. XI. *De la force de l'eau qui se glace, pour rompre les vaisseaux où elle étoit renfermée, par le concours de toutes les causes qui contribuent à son expansion.* 175

CHAP. XII. *Que la tendance à s'assembler sous un angle de 60 degrés, & l'effort d'expansion qui en résulte dans les particules d'eau qui se glacent, ont lieu indépendamment du froid & de la congélation, en des circonstances semblables à celles de la congélation.* 178

SECTION II.

Des phénomènes de la congélation, relativement à l'état & aux circonstances où se trouve l'eau qui doit se geler. Questions particulières. 187

CHAPITRE I. *Si l'eau qu'on a fait bouillir, a une disposition plus prochaine à se glacer,* ibid.

CHAP. II. *Si les grandes Rivières commencent à geler par leur superficie ou par le fond de leur lit.* 194

CHAP. III. *De l'eau qui ne se gèle pas étant exposée à la gelée, quoiqu'elle y ait acquis plusieurs degrés de froideur au delà de celui de la congélation ordinaire.* 206

T A B L E.

- CHAP. IV. *Suite d'observations & d'expériences sur le même sujet.* 211
- CHAP. V. *Réflexions sur les observations & les expériences précédentes.* 220
- CHAP. VI. *Si l'eau peut quelquefois se geler dans tout un pays par un air moins froid que celui de la congélation ordinaire.* 232
- CHAP. VII. *Suite du même sujet ; examen du second cas ; savoir, si l'eau se gèle constamment dans quelques pays par un degré de froid beaucoup moindre que celui de la congélation ordinaire indiqué sur nos thermomètres.* 239
- CHAP. VIII. *Suite du même sujet considéré sous une autre face ; savoir, si l'eau peut être refroidie par une violente agitation de sa masse , ou par l'impulsion redoublée d'un nouvel air, & enfin glacée.* 246
- CHAP. IX. *Réflexions sur les expériences & les observations précédentes.* 257
-

SECTION III.

- Des phénomènes de la Glace lorsqu'elle est toute formée.* 261
- CHAPITRE I. *Du volume de la Glace.* *ibid.*
- CHAP. II. *Si le volume de l'eau glacée ou de la glace continue d'augmenter.* 265

T A B L E.

CHAP. III. <i>De la force de la glace par sa résistance à être rompue, brisée ou aplatie, & en général de sa consistance.</i>	269
CHAP. IV. <i>De la force de la glace pour porter un poids, lorsqu'elle est elle-même portée par l'eau.</i>	280
CHAP. V. <i>De la froideur de la Glace.</i>	284
CHAP. VI. <i>Du goût de la Glace.</i>	287
CHAP. VII. <i>De la transparence de la Glace.</i>	291
CHAP. VIII. <i>De la réfraction de la Glace.</i>	298
CHAP. IX. <i>Des figures de la Glace, & de la Palingénésie.</i>	301
CHAP. X. <i>De l'évaporation de la Glace.</i>	306
CHAP. XI. <i>De la Neige.</i>	311

SECTION IV.

<i>Des phénomènes de la Glace dans sa destruction ou dans sa fonte, & du Dégel.</i>	319
CHAPITRE I. <i>De la fonte de la Glace en général.</i>	ibid.
CHAP. II. <i>Que la glace se fond beaucoup plus lentement qu'elle ne s'est formée ; & pourquoi.</i>	323

T A B L E.

CHAP. III. <i>De l'ordre dans lequel les parties de la glace se fondent.</i>	3 27
CHAP. IV. <i>Du Dégel.</i>	3 30
CHAP. V. <i>Plan d'observations à faire sur les retours annuels & périodiques de la gelée & du dégel, & sur leurs durées par rapport au climat de Paris, & aux autres climats de la Terre.</i>	3 33
CHAP. VI. <i>De la Glace ou de l'espèce de Neige qui s'attache aux murailles, après les longues gelées, pendant le dégel.</i>	3 38
CHAP. VII. <i>Des figures curvilignes qui se trouvent quelquefois tracées sur les vitres par plusieurs brins de glace, pendant le dégel.</i>	3 42

S E C T I O N V.

De la Glace artificielle par le moyen des sels. 3 52

CHAPITRE I. *Que les sels ne font geler l'eau qu'en faisant fondre la glace qu'on met autour. Expériences sur cette fonte.* 3 53

CHAPITRE II. *Formation de la Glace artificielle.* 3 57

CHAP. III. *En quoi la Glace artificielle diffère de la Glace ordinaire.* 3 59

CHAP. IV. *Du dégel artificiel, ou de la ma-*

T A B L E.

<i>nière dont on fait dégeler les fruits & les membres gelés.</i>	365
CHAP. V. <i>De l'efficacité des différens sels, pour la congélation artificielle.</i>	367
CHAP. VI. <i>Si les sels n'agissent absolument sur la Glace, pour la fondre, que par leur dissolution.</i>	371
CHAP. VII. <i>De la propriété qu'ont les Sels de refroidir l'eau où ils sont dissous, sans la glacer.</i>	374
CHAP. VIII. <i>De la congélation artificielle par le moyen des sels, sans glace.</i>	379
CHAP. DERNIER. <i>De la congélation artificielle sans glace & sans sels. Conclusion de cet ouvrage.</i>	382



E R R A T A.

<i>Page.</i>	<i>Ligne.</i>	<i>Faute.</i>	<i>Correction.</i>
7,	17, 18,	caufée.	caufées
22,	21,	dehors !.	dehors
54,	5,	neiges.	neige
71,	2, 3,	de cette épaisseur	de l'épaisseur
103,	7,	de l'eau	de l'eau,
136,	4,	la note.	la grande note
145,	Note,	Page 83.	Page 114.
167,	28,	qui n'ont	qui n'auroient
169,	dernière,	fujet on	fujet: on
280,	23,	Dannemarc.	Danemarc
287,	Note (b)	Dannemarc.	Danemarc
356,	5,	Le morceau de. . .	Le morceau du



DISSERTATION SUR LA GLACE, OU

*EXPLICATION PHYSIQUE
de la formation de la Glace, &
de ses divers phénomènes.*

EXPLIQUER la formation de la Glace, c'est montrer par des raisons prises de la nature & des propriétés des corps qui se changent en Glace, comment & par quelle mécanique se fait un tel changement. Cette explication suppose donc une connoissance exacte de la nature & des propriétés des corps qui se glacent, c'est-à-dire, des Liquides.

Mais les corps ne pouvant changer que par l'action d'une cause étrangère, il faudra

A

examiner ici quelque chose de plus que le Liquide & la Glace, & reconnoître nécessairement d'autres corps ou une autre matière, soit visible, soit invisible, qui détermine les Liquides à perdre leur liquidité, & à recevoir cette nouvelle modification qu'on appelle Glace.

On voit par-là de quelle difficulté est la question dont il s'agit, & par elle-même & par la liaison qu'elle a avec plusieurs autres questions très-difficiles. Disons plus, la formation de la glace & ses divers phénomènes, embrassent, en un sens, tout le système physique de l'Univers; car la cause de la Congélation est sans contredit invisible, & puisque la Glace ne se forme pas moins dans la machine du vuide que dans l'air, il faut que le corps étranger qui agit sur les liqueurs pour les glacer, soit quelque fluide beaucoup plus subtil que l'air, quelque matière éthérée & active, qui environne & qui pénètre plus ou moins tous les corps, tant durs que fluides; matière que le commun des hommes peut bien regarder comme chimérique, mais que la plus saine partie des Philosophes admet, comme la source de tous les mouvemens visibles ou invisibles, externes ou internes des corps, & par-là de tous les changemens & de toutes les variétés de la Nature; en un mot, comme le ressort de la machine du Monde.

Il faut encore considérer que le nombre des liquides différens, tant simples que composés, & par conséquent des différentes sortes de congélation, est comme infini; car quoique toutes les congélations soient analogues, en ce qu'elles partent vrai-semblablement de la même cause, elles varient néanmoins infiniment par les phénomènes qui les accompagnent. Mais si l'on approfondit davantage cette question, on trouvera qu'elle ne se borne pas aux seuls liquides, & que les corps les plus durs n'en doivent pas être exceptés.

Nous savions que les résines, les métaux, le verre, & la plûpart des minéraux & des fossiles étoient fusibles ou pouvoient devenir liquides; mais les expériences du fameux miroir ardent du Palais royal * nous ont appris qu'il n'y a presque pas de corps sur la Terre qui ne puisse être fondu & vitrifié par un feu violent; & que s'il y en a quelqu'un qu'on n'ait pû réduire à ces deux états différens, on peut présumer avec beaucoup de vrai-semblance que c'est faute d'art ou de quelqu'agent assez fort pour cela. Or qu'est-ce que la fonte causée par la chaleur, qu'un véritable Dégel? & la dureté qui survient au corps fondu par le refroidissement de ses parties, qu'une véritable Congélation? La

* Hist. de l'Acad. des Sc. 1699, p. 90. Mémoires 1702, p. 141. 1709, p. 162.

congélation & le dégel sont deux effets réciproques, dont l'examen appartient certainement à la question présente ; & puisqu'il n'y a rien sur la terre qui ne soit susceptible de ces deux changemens, il est clair que la question présente tombe sur tous les corps de la terre.

On ne s'attend pourtant pas sans doute à me voir traiter ici de la Glace dans toute l'étendue que présente cette idée, & je ne présume pas assez de mes forces pour l'entreprendre. Mais en ne m'attachant qu'à ce qu'il y a de plus essentiel & de plus curieux sur ce sujet, quel vaste champ ne me reste-t-il point encore à parcourir !

J'ai déjà assez fait connoître que j'attribue la formation de la glace à une matière subtile & active qui environne & qui pénètre les liquides. Il s'agit donc de trouver le rapport qu'il y a de cette matière, & de ses divers mouvemens à la congélation, comme de la cause à l'effet. Mais afin de mieux expliquer ma pensée là-dessus, je vais reprendre la route que j'ai tenue pour y arriver, & chercher ici tout de nouveau la cause de la congélation, comme si je n'avois encore formé aucune hypothèse sur ce sujet.

La théorie de la formation de la glace doit fournir l'explication particulière de ses principaux phénomènes, comme réciproquement l'explication des phénomènes doit

répandre sur la théorie un nouveau jour & un nouveau degré de probabilité.



PREMIERE PARTIE.

De la formation de la Glace.

PUISQUE la connoissance des liquides est absolument nécessaire pour découvrir la cause de la formation de la Glace, on ne peut se dispenser de commencer cette recherche par l'examen des Liquides. Voyons donc ce que c'est qu'un liquide, & fixons l'idée qu'on s'en doit former, par des définitions & des descriptions exactes. Après cela, la cause de sa congélation, la manière dont sa liquidité peut se détruire, se présentera sans doute d'elle-même. Nous examinerons ensuite si cette cause est unique, ou s'il y en a quelqu'autre qui concoure avec elle; & enfin les différens degrés de force & d'activité qu'elle peut avoir, selon les différens sujets sur lesquels elle agit.



CHAPITRE PREMIER.

Définitions , principes & remarques sur la nature des Fluides & des Liquides.

LA *liquidité* n'est qu'une espèce de *fluidité*. Un *Fluide* en général est un corps dont les parties ne sont pas liées ensemble, qui cède aisément au toucher, qui résiste peu à la division, & qui se répand comme de lui-même.

Parmi les fluides, quelques-uns se répandent par leur ressort & par leur poids, comme l'air, par exemple; ou seulement par leur poids, comme un monceau de sable, sans que leur surface supérieure se mette exactement de niveau, & ce sont-là des Fluides proprement dits.

Mais il y en a d'autres, tels que l'eau, l'huile & le mercure, qui se répandent & par leur poids & par le mouvement que les parties qui les composent ont en tout sens les unes à l'égard des autres; de manière que s'ils sont en suffisante quantité, ils coulent & s'étendent jusqu'à ce que leur surface supérieure se soit mise exactement de niveau, & c'est-là ce qu'on nomme des *Liquides*. C'est ce niveau & ce parallélisme perpétuel de leur surface, en conséquence de leur

poinds & du mouvement que leurs parties ont en tout sens, qui les distingue des fluides proprement dits, & qui fait le vrai caractère de la liquidité.

Nous dirons cependant d'un liquide considéré dans ses différens états, ou comparé à un autre liquide, qu'il est *plus ou moins fluide*, pour dire qu'il est plus ou moins coulant, & que ses parties apportent moins ou plus de résistance à leur séparation.

Le mouvement des parties des liquides n'est pas visible, parce que ces parties sont trop petites pour être aperçues; mais il n'est pas moins réel. Entre plusieurs effets qui le prouvent, un des principaux est la dissolution & la corruption des corps durs causée par les liquides. On ne voit aucun mouvement, par exemple, dans de l'eau forte qu'on a laissé reposer dans un verre; cependant si l'on y plonge une pièce de cuivre, il se fera d'abord une effervescence dans la liqueur: le cuivre sera rongé visiblement tout autour de sa surface, & enfin il disparaîtra en laissant l'eau forte chargée par-tout & uniformément de ses parties devenues imperceptibles, & teintes d'un bleu tirant sur le verd de mer. Ce que les eaux fortes font à l'égard des métaux, les autres liquides le font à l'égard d'autres matières; chacun d'eux est dissolvant par rapport à certains

corps plus ou moins, selon la figure, l'agitation, la solidité ou la subtilité de ses parties. Or il est clair que la dissolution suppose le mouvement, ou n'est autre chose que l'effet du mouvement. Ce n'est pas le cuivre qui se dissout lui-même, il ne donne pas non plus à la liqueur une agitation qu'il n'a pas; le repos de ses parties & le repos des parties du liquide joints ensemble, ne produiront pas un mouvement; il faut donc que les parties du liquide soient véritablement agitées, & qu'elles se meuvent en tout sens, puisqu'elles dissolvent de tous côtés & en tout sens les corps sur lesquels elles agissent, jusqu'à les réduire en poudre impalpable. On en peut dire autant de l'effervescence de certaines liqueurs, lorsqu'on les mêle ensemble. Le mouvement subit & intérieur qui naît de ce mélange viendrait-il de leur repos mutuel? Quelle qu'en fût la cause nous l'appliquerions encore à notre sujet.

Le mouvement intestin des liqueurs est si indispensable pour la dissolution, que quand même on y feroit intervenir l'Attraction réciproque des parties contigues entre le dissolvant & le corps à dissoudre, on seroit encore contraint d'y admettre le mouvement ou le transport local & en tout sens de celles du premier; sans quoi il seroit impossible de concevoir qu'elles pussent toutes agir sur le solide, ou sur le liquide qui leur est soumis,

les plus éloignées, comme les plus proches, & répandre uniformément les parties dissoutes, dans toute la masse du dissolvant*.

A cette preuve, qui est très-forte, j'en ajouterai une seconde qui ne l'est pas moins. Nous la tirerons de l'évaporation des liquides, ou de leur volatilité, qui, comme on va voir, & toutes choses d'ailleurs égales, doit être d'autant plus grande, que la matière subtile ou éthérée qui les pénètre s'y meut avec plus de liberté & de vitesse, & peut leur communiquer par-là plus de mouvement.

CHAPITRE II.

Mouvement intestin des Liquides déduit de leurs évaporations.

L'ÉVAPORATION des Liquides, en général, n'a lieu que lorsqu'ils sont exposés à l'air libre, & n'est jamais si sensible que lorsque cet air est agité ou change sans cesse. Elle est ordinairement nulle dans

* *Ipsa quoque solutio salium, quam aqua quæta peragit; demonstrat elementa illius moveri inter, licet solutio hæc Attractioni potius partium inter se, quàm propulsui, tribuenda videatur: attamen solutio in tota massa vix futura videtur, nisi intestino motu, de loco in locum continenter agitata elementa, successivè ita se applicarent ad solvendum saltem.*
Boerhaave, *Chemia*, T. I, p. 300. Edit. Paris 1733.

un vaisseau bien bouché, & toujours beaucoup moindre, lorsque l'air qui appuie sur la surface des liquides est tranquille, les parties qui s'en élèvent ne pouvant alors s'échapper, ou y retombant aussi-tôt.

Supposant donc un liquide exposé à l'air libre, son évaporation devra être d'autant plus grande, 1° qu'il présentera plus de surface à cet air; 2° que ses parties seront moins pesantes, & que l'air qui frappe sur sa surface pourra, par cette seule raison, plus aisément les soutenir, les entraîner, s'en imbibier; 3° qu'il sera plus fluide, ou que ses parties auront moins de ténacité entr'elles; 4° & enfin, si le mouvement intestin a lieu, selon que ce mouvement sera plus grand: car, comme nous l'expliquerons bien-tôt, les liquides, par cette seule cause, doivent tendre à se dissiper plus ou moins vite, selon qu'elle agira avec plus ou moins de force. J'avoue qu'on pourroit encore ajouter la grosseur & la configuration des parties; mais outre que nous ne savons rien d'assez positif sur ces circonstances, je les crois suffisamment comprises dans celles de la pesanteur spécifique, & de la fluidité.

Ce sont-là, si je ne me trompe, les principales causes de l'Évaporation des liquides. Mais comme on peut toujours faire ou supposer leurs surfaces égales, lorsqu'on veut comparer deux ou plusieurs liquides

entr'eux, nous supprimerons cette première cause de leur évaporation, & nous nous arrêterons aux trois dernières, dont nous énoncerons le concours sous cette forme abrégée; *l'Évaporation des Liquides est en raison composée inverse de leurs pesanteurs spécifiques, & directe de leur degré de fluidité, & de leur mouvement intestin.*

Donc si l'expérience étant faite sur ce plan, elle nous montre que de ces trois causes les deux premières sont insuffisantes pour nous donner l'Évaporation absolue & réelle des liquides, nous devons en conclurre que la troisième existe, & nous serons d'autant plus en droit de le conclurre, & d'admettre cette troisième cause, que l'insuffisance des deux premières ensemble sera plus manifeste & plus marquée. C'est ce que nous allons voir par la comparaison de deux liquides fort connus, l'eau & l'esprit de vin.

J'ai exposé sur une fenêtre située au couchant deux petites soucoupes de porcelaine, à peu près égales & de même poids, circulaires, & d'environ 4 pouces de diamètre à l'endroit de leur évasement jusqu'où j'avois prévu que devoit monter la liqueur; le Thermomètre de M. de Reaumur étant alors sur cette fenêtre à 11 degrés au dessus du terme de la congélation, & le Baromètre à 27 pouces 10 lignes; vers les neuf à dix

heures du matin, temps sombre, par un vent presque insensible de sud-sud-ouest vers le milieu du mois de Mai, à Paris; j'ai versé dans l'une des deux soucoupes deux onces d'eau de rivière, & autant d'esprit de vin, rectifié à l'épreuve, dans l'autre. J'ai réduit ensuite chacune des deux soucoupes, y compris la liqueur qu'elle contenoit, en ôtant ou remettant quelque goutte de liqueur de part ou d'autre, exactement au même poids.

Le tout ainsi disposé & laissé en expérience, pendant une heure, & ayant pesé de nouveau chacune des soucoupes, y compris la liqueur restante, j'ai trouvé au bout de cet intervalle l'esprit de vin diminué de 2 gros 50 grains, & l'eau seulement de 25 grains. Ce qui donne le rapport de 194 à 25, un peu moindre que de 8 à 1.

Le 29 du même mois à midi, le Thermomètre étant à 17 degrés au dessus de la congélation, sur la même fenêtre, le Baromètre à 28 pouces; j'ai exposé de même deux tasses à café de porcelaine, sensiblement égales, que j'ai remplies à une demiligne près, l'une d'eau de rivière, l'autre du même esprit de vin que ci-dessus, par un vent de nord très-foible, temps serein & beau soleil, mais ni le vent ni le soleil ne donnant point sur cette fenêtre. Chaque

tasse avoit 2 pouces 7 lignes d'ouverture ; ce qui produit une surface à peu près en raison de 25 à 60, ou de 5 à 12 par rapport à celle des soucoupes de la première expérience. C'est pourquoi je les ai laissées 2 heures 25 minutes en expérience, pour avoir l'égalité, en compensant par le temps ce qu'il y avoit de moins aux surfaces.

Au bout de cet intervalle l'esprit de vin étoit diminué de 4 gros, & l'eau de 34 grains ; ce qui donne le rapport de 288 à 34, un peu plus grand que de 8 à 1. Et comme la première expérience le donne un peu moindre, nous le prendrons comme assez juste, de 8 à 1.

C'est à ces deux expériences, choisies entre un grand nombre d'autres, & au rapport qui en résulte, que je m'arrêterai ; parce qu'il n'est pas tant question ici des Évaporations absolues de tels ou tels liquides, en telles ou telles circonstances, de chaud ou de froid, de sec ou d'humide, de vent ou de calme, que de leurs évaporations relatives, lesquelles varient beaucoup moins en de mêmes circonstances. Mais je dois avertir que les expériences qu'on feroit là-dessus avec une trop petite quantité de liqueur, eu égard à la grandeur des surfaces, ou, ce qui revient au même, par un plus long intervalle de temps, & jusqu'à siccité de part & d'autre, seroient trompeuses, en

ce que l'esprit de vin, qui reste un peu auparavant, est trop affoibli, & que dans ce cas ce n'est plus qu'une espèce de phlegme insipide, dont l'évaporation n'a pû qu'être beaucoup plus lente que celle de l'esprit de vin dans sa pureté, tandis que l'évaporation de l'eau, plus uniforme, ne lui a presque pas fait changer de nature. L'esprit de vin qui restoit après les évaporations précédentes mettoit encore très-vîte le feu à la poudre.

Nous trouvons donc par ces expériences que le rapport des évaporations de l'esprit de vin à celles de l'eau est environ comme de 8 à 1. Voyons présentement quelle est la partie de l'évaporation absolue des deux liquides, qu'il convient d'attribuer aux deux premières causes, c'est-à-dire, aux pesanteurs spécifiques & aux fluidités qui s'y compliquent.

La pesanteur spécifique de l'eau de rivière est, selon M. Musschenbroeck (a), à celle de l'esprit de vin rectifié, comme 1009 à 866, & sa fluidité, selon les expériences de M. le Monnier Médecin (b), comme 1000 à 1098. Cela posé, &, que la *volatilité* ou la facilité à s'évaporer dans les liquides, est, toutes choses d'ailleurs égales, en raison composée inverse de leurs pesanteurs spécifiques, & directe de leurs fluidités, il est

(a) Essai de Physique, p. 414.

(b) Hist. de l'Acad. des Sc. 1741, p. 152.

clair que la volatilité de l'esprit de vin, par ces deux seules causes, devra être à celle de l'eau, comme le produit de 1009 par 1098, au produit de 866 par 1000; ce qui se réduit à environ comme 5 est à 4.

D'où l'on voit que l'évaporation de l'esprit de vin, par sa légèreté & par sa fluidité, ne surpasseroit l'évaporation de l'eau, rapportée à ces deux mêmes causes, que de $\frac{1}{5}$; tandis que par le concours des trois causes elle la surpasse de $\frac{7}{8}$. Ce qui, sans pousser plus loin le calcul, montre assez que la troisième cause, le mouvement intestin, doit entrer dans l'évaporation de l'esprit de vin, qu'il en constitue la principale partie, & par conséquent qu'il existe. On trouvera d'après les mêmes expériences, & par une analyse dont je supprime le détail, que le mouvement intestin de l'eau n'est pas moins réel, quoique de beaucoup moins grand, ne faisant pas tout-à-fait la 6^{me} partie de celui de l'esprit de vin; & ainsi des autres liquides, toutes proportions gardées.

Ce que l'esprit de vin est à l'eau en volatilité, d'autres liquides pourront l'être à l'égard de l'esprit de vin. La liqueur chymique, connue sous le nom d'Ether*, paroît être de ce nombre. Elle est si volatile, que le doigt qu'on y a trempé, n'en est plus mouillé dans l'instant, & que jetée en l'air en petite quantité, elle disparoît & ne re-

* Mém. de l'Acad. 1734, p. 41.

tombe point. L'eau, qui fait ici le dernier terme de la comparaison, pourra faire le premier, & devenir à cet égard esprit de vin par rapport à d'autres liquides, tels que l'eau forte, &c. qui se trouveront aussi dans le cas de différer infiniment plus de volatilité avec elle, que de pesanteur spécifique & de fluidité *.

L'Évaporation des liqueurs dans le vuide prouve peut-être encore plus directement leur volatilité propre ou leur mouvement intestin; puisque le milieu ambiant, ou ce vuide, est censé n'avoir pas d'action sensible sur la liqueur. Je m'en rapporterai là-dessus aux expériences de M. Waller, qui ont été faites avec toutes les attentions possibles, dans le vuide le plus parfait de la machine Pneumatique, après la cessation des bulles, & l'évacuation réitérée de l'air contenu dans le liquide. Il suit de ces expériences, que l'eau, le vin, & les autres liqueurs s'évaporent dans le vuide indépendamment de toute cause externe, comme le choc & le contact de l'air: sans compter plusieurs autres conséquences curieuses, sur la forme que prennent les particules de l'eau en s'évaporant, sur leur légèreté spé-

* Quant à la manière dont l'air enlève les parties d'un liquide, je n'en connois pas de meilleure explication que celle qu'en a donné M. Bouillet, & qu'on peut voir dans l'hist. de l'Acad. des Sciences, 1742, p. 18.

cifique ou relative, &c. qu'on peut voir dans ce Mémoire*.

CHAPITRE III.

Suite des Définitions, Principes, & Remarques sur la nature des Fluides & des Liquides.

QUOIQUE IL y ait des corps, tels que la flamme, dont les parties sont extrêmement agitées de bas en haut, & du centre vers la circonférence, par un mouvement de vibration ou de ressort, ils ne sauroient être appellés Liquides; ce ne sont que des Fluides, parce que le mouvement en tout sens, le poids, & peut-être d'autres circonstances qui pourroient déterminer leurs surfaces supérieures au niveau, leur manquent.

Un liquide peut devenir fluide, ou composer un fluide par l'amas de ces parcelles, lorsqu'elles se détachent de la masse totale; comme on voit qu'il arrive à l'eau qui se résout en vapeurs. Car les brouillards & les nuages sont des corps ou des amas fluides, quoique formés de l'assemblage de parcelles liquides.

De même un fluide, proprement dit, peut

* *De ascensu vaporum in vacuo, demonstratio.* Aut. Nic. Wallerio. Acta Litter. & Scient. Sueciæ, an. 1738.

devenir liquide, si l'on insère dans les intervalles des parties qui le composent quelque matière qui les agite en tout sens, & les détermine à se ranger de niveau vers la surface supérieure, à peu près comme il arriveroit à du sable qu'on jeteroit dans un grand vaisseau plein d'eau bouillante.

Et au contraire, si l'on imagine qu'en cet état une puissance supérieure à celle qui agite les grains de ce sable, vienne à les ferrer & à les comprimer fortement l'un contre l'autre, en sorte qu'ils ne puissent plus ni glisser les uns sur les autres, ni être séparés par l'eau bouillante qui coule entr'eux; ce tout, cet amas de parties intégrantes qui formoient auparavant un liquide, ne sera plus qu'un corps dur, &, s'il m'est permis de parler ainsi, qu'une véritable glace.

J'explique soigneusement tous ces termes, afin qu'on y attache les mêmes idées que moi. En voici quelques autres dont l'explication me donnera lieu de proposer deux principes très-importans sur cette matière.

J'entends par les *parties intégrantes* d'un liquide & de chaque corps, les parties qui entrent dans sa composition selon le dernier degré de division actuelle où elles doivent être pour former un tel liquide ou un tel corps, & nullement selon le dernier degré de division possible où elles sont capables d'arriver : car la matière étant divisible à

l'infini, les parties intégrantes d'un Liquide, & celles de tout autre corps, ont elles-mêmes d'autres parties intégrantes qui les composent, & par lesquelles elles peuvent être divisées & subdivisées à l'infini. C'est ainsi du moins que nous devons le concevoir, quoique peut-être à l'égard de certaines substances, les forces actuelles de la Nature, dans la partie de l'Univers que nous occupons, soient insuffisantes pour pousser la division au delà.

Ce que j'appelle parties intégrantes dans les liquides, je l'appellerai *molécules* dans la matière subtile, avec cette différence que par les parties intégrantes d'un liquide, je n'entends que de petits amas de matière composés d'autres parties qui sont conçues en repos les unes à l'égard des autres; au lieu que je regarde les molécules de la matière subtile, comme de petits amas de matière extrêmement agitée, ou plutôt comme autant de balons ou de petits tourbillons d'un fluide encore plus subtil qui tourne autour de leur centre ou de leur axe avec une rapidité indéfinie.

C'est la force que ces molécules tirent de cette agitation pour se dilater, & pour repousser autant qu'elles sont poussées, que j'appelle leur *ressort*.

Car d'un côté il est constant par mille expériences, que la matière subtile ou éthérée

a du ressort, & de l'autre, si l'on veut raisonner sur des notions claires & distinctes, on ne conçoit pas que les corps puissent avoir d'autre force ni d'autre action que celle qu'ils tirent de leur mouvement. Il faut donc de nécessité chercher à la matière subtile un mouvement qui puisse lui donner cette force qu'on nomme ressort. Or on peut démontrer qu'il n'y en a point d'autre, intelligible, & capable de lui procurer cette propriété que celui que je viens de décrire, le mouvement de rotation sur un axe ou autour d'un centre, & dont l'idée est dûe à l'un des plus célèbres Philosophes de notre siècle *. De quelque manière cependant qu'on l'entende, il me suffit qu'on m'accorde le ressort de la matière subtile, comme un fait que mille phénomènes nous indiquent; & c'est afin que chacun ait la liberté de l'imaginer comme il voudra, que je me sers du mot vague de molécules, plutôt que de celui de globules ou de petits tourbillons.

Un autre principe qui me paroît très-recevable, & qui doit son origine au même Auteur, c'est que la cohésion des parties, la dureté des corps ou la résistance que leurs parties apportent à leur désunion, ne vient que de la matière subtile qui les environne & qui les comprime. Il est vrai que l'air

* Le P. *Malebranche*, 16^e *Eclairciss. sur la Rech. de la Vérité. E'dit. 1712.*

contribue aussi un peu à la dureté des corps par son poids; & personne n'ignore là-dessus l'expérience des deux plans polis, ou des deux marbres creux appliqués l'un contre l'autre. Mais l'air ne comprime guères que les parties les plus grossières de l'extérieur des corps; au lieu que la matière subtile ou éthérée, qui en pénètre aisément tous les pores les plus étroits, lie avec force les plus petits amas de matière qui les composent. Ce sera, si l'on veut, l'Attraction ramenée à un concept mécanique.

Suivant ces principes, les parties intégrantes d'un liquide seront plus ou moins dures, selon que la matière subtile les comprimera davantage, ou par la liberté & la vitesse avec laquelle elle se meut entr'elles, ou par la quantité & la qualité des surfaces qui joignent entr'eux les élémens ou parties encore plus petites qui composent les premières. Ces parties intégrantes sont comme environnées de toutes parts de la matière subtile; elles y nagent, y glissent, & suivent en tout sens les mouvemens qu'elle leur imprime, soit que le liquide se trouve dans l'air, soit qu'il se trouve dans la machine Pneumatique. C'est le plus ou le moins de cette matière enfermée dans un liquide, selon qu'elle a plus ou moins d'agitation & de ressort, qui fait principalement le plus ou le moins de liquidité: mais le plus ou le

moins d'agitation de cette matière, communiquée au liquide, dépend de la grosseur, de la figure, de la nature des surfaces, planes, convexes ou concaves, polies ou raboteuses, & de la densité des parties intégrantes du liquide. Si 10 personnes autour d'une table peuvent y être rangées de 3628800 manières différentes, ou faire 3628800 changemens d'ordre, on doit juger quelle prodigieuse quantité de liquides différens pourront produire toutes les combinaisons & toutes les variétés des circonstances dont je viens de parler.

CHAPITRE IV.

D'où vient que les Liquides ne se dissipent pas en un instant, & que leurs parties résistent un peu à la désunion ; & comment se conserve l'équilibre entre ces parties, la matière subtile qui les environne & qui les pénètre, & la matière subtile du dehors ?

MAIS approfondissons un peu la mécanique des Liquides : ce n'est qu'à proportion qu'elle sera plus connue, qu'on pourra mieux découvrir la véritable cause du changement qui leur arrive dans la Congélation.

Comment se peut-il que leurs parties intégrantes étant si agitées par la matière subtile, elle ne les dissipe pas en un moment ? Voilà, par exemple, un verre à demi-plein d'eau : on voit bien que cette eau est retenue vers les côtés & au dessous, par les parois du verre ; mais qu'est-ce qui la retient au dessus ? Car par la définition des liquides, ils doivent toujours avoir quelques parties intégrantes qui se meuvent vers le haut ; & telle partie, par exemple, étoit poussée dans cet instant vers les côtés, ou vers le fond du vaisseau, qui va tendre vers l'ouverture dans l'instant qui suit ! J'avoue que le poids de l'atmosphère, ou la colonne d'air qui appuie sur la surface de cette eau, la retient en partie ; mais le même liquide qui se conserve dans l'air, ne se conservant pas moins dans la machine Pneumatique après qu'on en a pompé l'air, il faut avoir recours à une autre cause.

D'où vient encore la viscosité qu'on remarque dans tous les liquides, plus ou moins : cette disposition que les gouttes qu'on en détache ont à se rejoindre, & cette légère résistance qu'elles apportent à leur séparation, & par laquelle il semble qu'elles n'obéissent que par extension à la violence qui leur est faite ?

De plus, il n'y a point d'apparence que la matière subtile enfermée dans les interstices

d'un liquide, non plus que les parties qui le composent, se meuve avec la même vîtesse que la matière subtile extérieure; de même à peu près que les vents qui pénètrent jusque dans le milieu d'une forêt, s'y trouvent considérablement affoiblis, & que les feuilles & tout ce qu'ils y rencontrent y est beaucoup moins agité qu'en rase campagne. Or comment se conserve l'équilibre dans ces différens degrés de vîtesse des parties integrantes d'un liquide, de la matière subtile du dedans & de la matière subtile du dehors!

J'avoue que ces difficultés m'ont paru embarrassantes; mais, si je ne me trompe, j'en ai trouvé le dénouement, & il est comme le lemme fondamental de tout ce qu'il y a de plus important à connoître pour la formation de la glace.

Premièrement, les parties d'un liquide ne sont pas exemptes de pesanteur, ou d'*inertie*, & elles en ont, de même que tous les autres corps, à raison de leur masse & de leur matière propre: c'est-à-dire, que tout corps, indépendamment de la Pesanteur, imaginé sur un plan horizontal infiniment poli, exige d'autant plus de force pour être mû avec une certaine vîtesse, qu'il a plus de masse. C'est ce qu'on appelle *force d'inertie*, quelle qu'en soit la cause dont nous n'avons point à nous embarrasser ici, non plus que de celle de la Pesanteur. Cette pesanteur ou cette inertie est

est une des puissances qui assujétissent le liquide dans le vase où il est contenu.

Secondement, il ne faut pas croire que la matière subtile environne les parties intégrantes d'un liquide, de manière qu'elles ne se touchent jamais entr'elles, & ne glissent jamais les unes sur les autres, selon qu'elles ont des surfaces plus ou moins polies, & qu'elles sont mêes avec plus ou moins de vitesse. Il est très-probable au contraire que les parties intégrantes de la plûpart des liquides, tels que l'eau, l'huile, le vin, &c. ne se meuvent guère autrement. Or ces parties présentent d'autant moins de surface à la matière subtile intérieure, qu'elles se touchent par plus d'endroits; & celles qui se trouvent vers les extrémités lui en présentent encore moins que les autres, puisqu'elles ont un côté vers le dehors: elles en présentent donc davantage à la matière subtile extérieure; & comme cette matière a plus de liberté, & se meut avec plus de vitesse que l'intérieure, il est clair qu'elle doit avoir plus de force pour repousser les parties du liquide vers la masse totale, que la matière subtile intérieure n'en a pour les en séparer. Ainsi le liquide demeurera dans le vaisseau qui le contient, & de plus il aura quelque viscosité, ou résistera un peu à la division.

Pour les liquides fort spiritueux, dont les parties intégrantes sont apparemment

presque toutes noyées dans la matière subtile, sans se toucher entr'elles que rarement, & par de très-petites surfaces, ils sont en même temps & l'exception & la preuve de ce que je viens de dire, puisqu'ils s'exhalent & se dissipent bien-tôt d'eux-mêmes, si l'on ne bouche exactement le vaisseau qui les renferme.

Enfin, pour comprendre comment les parties des liquides se meuvent avec la matière subtile qu'ils contiennent, & comment l'équilibre se conserve entr'elles, cette matière & la matière subtile extérieure, il faut observer que quoique chaque partie intégrante de certains liquides soit peut-être mille fois plus petite que le plus petit objet qu'on peut apercevoir avec le microscope, il y a apparence que les plus grosses molécules de la matière subtile sont encore des millions de fois plus petites que ces parties. L'imagination se perd dans cette extrême petitesse; mais c'est assez que l'esprit en aperçoive la possibilité dans l'idée de la matière, & qu'il en conclue la nécessité par plusieurs faits incontestables. Or cent de ces molécules, par exemple, qui viennent heurter en même temps, selon une même direction, & avec une égale vitesse, la partie intégrante d'un liquide un million de fois plus grosse que chacune d'elles, ne lui communiquent pourtant que peu de leur vitesse;

parce que leurs cent petites masses sont contenues dix mille fois dans sa grosse masse, & qu'il faut pour y distribuer, par exemple, un degré de vitesse, qu'elles fassent autant d'effort contr'elle, que pour en communiquer dix mille degrés à cent de leurs semblables: car 100 de masse multiplié par 10000 de vitesse, & 1 de vitesse multiplié par 1000000 de masse, produisent également de part & d'autre, 1000000 de mouvement, ou, comme on dit, de *moment*. Mais ces cent molécules de matière subtile sont bien-tôt suivies de cent autres, & ainsi de suite peut-être de cent millions: & comme celles qui viennent les dernières sur la partie du liquide, lui trouvent déjà une certaine quantité de mouvement que les premières lui ont communiqué, elles l'accélèrent toujours de plus en plus; & à la fin elles lui donneroient autant de vitesse qu'elles en ont elles-mêmes, si la matière subtile pouvoit toujours couler sur cette partie avec la même liberté & selon la même direction. Mais la matière subtile se mouvant en divers sens dans le liquide, & la vitesse que plusieurs millions de ses molécules peuvent avoir donnée à une partie intégrante du liquide, par une application continue & successive de cent en cent vers un certain côté, étant bien-tôt détruite ou retardée par plusieurs millions d'autres qui viennent choquer la même partie, selon des

directions différentes ou contraires ; il est évident que cette partie intégrante du liquide n'aura jamais le temps de parvenir à leur degré d'agitation, & qu'ainsi la supériorité de vitesse demeurera toujours à la matière subtile. Cependant il n'est pas possible que cette vitesse ne soit fort diminuée par-là, & ne se trouve bien-tôt au dessous de ce qu'elle est dans la matière subtile du dehors, qui rencontre bien moins d'obstacles à ses divers mouvemens ; obstacles d'autant plus considérables, que la densité du liquide est plus grande, que ses parties intégrantes sont plus grosses, qu'elles ont plus de surface, & que ces surfaces sont moins glissantes. Mais ce que la matière subtile perd de vitesse entre les interstices d'un liquide, est compensé par une plus grande tension du ressort de ses molécules, lequel augmente sa force à mesure qu'il est plus comprimé : & c'est par-là que l'équilibre se conserve entre les parties intégrantes du liquide, la matière subtile intérieure, & la matière subtile du dehors. C'est par l'action & la réaction continuelles & réciproques entre les parties du liquide & la matière subtile qu'il contient, & entre ce tout & la matière subtile extérieure, que les vitesses, les compressions, & les masses multipliées de part & d'autre, donneront toujours un produit égal de force ou de mouvement, & ce mouvement & cet équilibre

subsisteront tant que le liquide persévérera dans son état de liquidité.

On voit donc que les parties intégrantes d'un liquide sont ce qui s'y meut avec le moins de vitesse; ensuite c'est la matière subtile qui coule entr'elles, qui est plus agitée qu'elles; & enfin vient la matière subtile extérieure, dont l'agitation passe celle de tout le reste, & de la vitesse de laquelle on peut se faire une idée, par les effets qu'elle produit dans la poudre à canon, dans le tonnerre, & vrai-semblablement dans l'électricité.

CHAPITRE V.

Formation de la Glace.

QUE reste-t-il maintenant pour comprendre de quelle manière se fait la congélation? Voulez-vous faire de la Glace, c'est-à-dire, voulez-vous changer un corps liquide, tel que l'eau, en un corps solide? Chassez une partie de la matière subtile qui coule entre ses interstices, diminuez son mouvement ou affoiblissez son ressort, en sorte qu'elle ne puisse plus vaincre la résistance des parties intégrantes du liquide; c'est tout ce que fait le froid, & vous aurez de la Glace. Voulez-vous au contraire changer un corps très-dur, du verre ou du bronze, en un corps liquide, le dégeler! Introduisez une quan-

ité fuffifante de matière fubtile dans fes pores , ou augmentez affez le mouvement ou le reffort de celle qui s'y trouve enfermée , pour qu'elle puiſſe ſéparer les parties qui s'uniffent par leurs ſurfaces , ou débarraſſer celles qui s'entrelacent par leurs rameaux : vous ferez ce que fait la chaleur , & vous aurez un Liquide *.

Enfin , il ne s'agit plus , pour découvrir tout l'artifice de la Nature dans la formation de la Glace , que de comparer ce qui a été dit des Liquides , avec les changemens que le froid & le chaud peuvent faire ſur la cauſe de leur liquidité , je veux dire ſur la matière fubtile.

CHAPITRE VI.

Idee générale du chaud & du froid , de l'été & de l'hiver , appliquée à la formation de la Glace.

LE chaud & le froid , comme les couleurs , les ſons , les ſaveurs & les odeurs , ſont ce qu'on appelle des *qualités ſenſibles* , que l'on ne confond que trop ſouvent avec les ſenſations que les corps doués de ces qualités excitent en nous. Il ne faut cependant qu'avoir un peu réfléchi ſur ſoi-même , &

* *Tum Glacies æris flammâ devicta liqueſcit.* Lucret. lib. 1.

sur tout ce qui nous environne, pour être pleinement convaincu qu'il n'existe rien dans les corps, en tant que tels, qui ressemble le moins du monde à ce que nous sentons lorsqu'ils frappent nos sens, soit immédiatement, soit par le moyen de quelque fluide qui se trouve entre eux & nous. Configuration de parties, mouvement ou repos, vibrations communiquées au fluide ambiant, c'est tout ce qui appartient aux corps prétendus chauds ou froids, lumineux, colorés, ou sonores. Les parties *calorifiques* ou *frigorifiques* sont autant de chimères enfantées par l'imagination, dès qu'on les fait consister en quelque chose de plus que ce que nous venons de dire. Le froid absolu est un être purement négatif, comme le repos, ou l'obscurité; & le froid en général n'est qu'une moindre chaleur ou un moindre mouvement de la part de la matière subtile ou du fluide quelconque qui constitue le feu ou la chaleur. Ainsi l'on peut dire que les glaces d'Italie sont chaudes, par rapport aux glaces du Groenland, parce qu'elles sont moins froides, & en quelque sorte moins glace: car comme il est démontré qu'il n'y a pas de repos absolu dans la Nature, il l'est de même qu'il n'y a pas de froid absolu. C'est à cette idée simple du chaud & du froid qu'on réduira toutes celles qu'on peut se former sur ce

sujet, lorsqu'on voudra l'approfondir, quel qu'opinion qu'on embrasse d'ailleurs sur la cause physique de la chaleur, & sur la matière du feu élémentaire, pourvû que cette opinion soit intelligible.

Le Soleil peut être regardé en ce sens comme la source la plus féconde, comme le grand réservoir de la chaleur des Planètes qui circulent autour de lui, & sur-tout de la partie extérieure qu'elles présentent à ses rayons : quoique ces planètes puissent contenir un feu central, ou intérieur quelconque, un fonds de chaleur indépendant de la vicissitude des saisons, & qui surpasse même de beaucoup la chaleur actuellement communiquée par le Soleil ; ainsi que plusieurs phénomènes nous l'indiquent, & que nous l'expliquerons dans la suite. Mais en général, ce sont les rayons du Soleil qui produisent cette alternative de chaud & de froid que nous éprouvons selon diverses circonstances, & principalement à l'occasion des différentes saisons de l'année.

Or la chaleur extérieure qui nous vient du Soleil peut être affoiblie de trois manières ; ou par l'éloignement de sa source, ou par la position oblique & désavantageuse des surfaces qui reçoivent ses rayons, ou enfin, par l'interposition des vapeurs & d'une atmosphère épaisse & profonde qui nous intercepte en partie ses rayons.

C'est de la première manière qu'apparemment il fait moins chaud sur la planète de Saturne que sur notre Globe ; parce que cette planète est environ dix fois aussi éloignée du Soleil que nous : ce qui , toutes choses d'ailleurs égales , doit procurer à Saturne cent fois moins de chaleur qu'à la Terre ; savoir , en raison du quarré de sa distance au Soleil. Je dis apparemment , & toutes choses d'ailleurs égales ; parce que si la chaleur centrale ou intérieure quelconque y a lieu , comme nous le démontrerons de la Terre , & qu'elle y soit , par exemple , en raison de la masse , ou de la grandeur de la planète , ou en tel autre rapport , il est très-possible qu'il fasse autant ou plus de chaud sur la surface de Saturne , que sur celle de la Terre. Ainsi ce n'est pas sans restriction qu'il faut entendre ce qu'a dit M. Newton , *que si notre Globe étoit porté à la place de celui de Saturne , notre eau s'y glaceroit , & qu'à la place de celui de Mercure , elle s'exhaleroit en vapeurs* *.

Mais c'est de la seconde & de la troisième manière , qu'en général il fait moins chaud ou plus froid dans nos climats en hiver qu'en été , & dans les Zones glaciales , que dans les Zones tempérées & torride ; parce que les rayons du Soleil sont reçus plus obliquement sur la terre en hiver qu'en été , &

* *Newt. Princip. l. 3. pr. 8. cor. 4.*

sur les zones glaciales ou tempérées, que sur la zone torride. Par-là il en tombe d'autant moins sur le terrain, en raison des sinus de leur obliquité, & ceux qui y tombent y font un effort d'autant moindre ; ce qui donne la raison doublée de ces sinus. D'où il suit, que l'action des rayons solaires sur un plan horizontal, ou sur la surface supposée plane d'un pays, à un instant donné, par exemple, à midi, est proportionnelle au quarré des sinus du complément de latitude de ce pays.

Cette obliquité est cause encore que les rayons solaires sont interceptés en partie par une plus grande quantité d'air. Car comme une aiguille qu'on enfonceroit obliquement dans une orange, auroit plus d'écorce à percer, que celle qu'on y enfonceroit perpendiculairement & vis-à-vis du centre ; de même le Soleil regardant les zones glaciales & les lieux qui ont l'hiver, plus obliquement que la zone torride & les lieux qui ont l'été, ses rayons ont à traverser beaucoup plus d'air dans l'atmosphère, & ils sont plus affoiblis par cette cause, & par la précédente, que fortifiés par la première ou par le plus de proximité ; quoique ce plus de proximité aille à environ la trentième partie du plus grand éloignement, c'est-à-dire, à près d'un million de lieues : ce qui fait une distance près de mille fois plus

grande, que celle qu'il y a de la zone torride aux zones glaciales.

Avec ces idées du chaud & du froid, remettons-nous devant les yeux un liquide tel que je l'ai dépeint ci-dessus. Supposons-le d'abord dans un lieu assez chaud, pour lui conserver sa liquidité ou le mouvement de ses parties intégrantes; & souvenons-nous de l'équilibre que la matière subtile engagée entre leurs intervalles, conserve avec elles & avec la matière subtile extérieure. Imaginons ensuite que le lieu où est ce liquide vienne à se refroidir peu à peu, jusqu'au degré nécessaire pour la congélation. Le mouvement de la matière subtile extérieure diminuera donc aussi peu à peu, & par conséquent elle ne sauroit se trouver en équilibre avec celle qui est dans le liquide, & qui communique avec elle par une infinité d'issues & de pores, sans que celle-ci ne diminue, à proportion de sa vitesse & de son ressort. Car dès que la matière subtile intérieure sera moins comprimée par celle du dehors, & qu'elle deviendra la plus forte, elle doit s'échapper du côté où elle trouve le moins de résistance, c'est-à-dire, vers les extrémités & hors du liquide.

Il arrive quelque chose de tout-à-fait semblable, lorsqu'après avoir enfermé de l'eau ordinaire dans la machine pneuma-

tique, on vient à en pomper l'air. Car à chaque coup de pompe, l'air qui appuyoit sur la surface de l'eau se trouvant plus rare & plus lâche, parce qu'il est en moindre quantité, il comprime d'autant moins l'eau & l'air qu'elle contient entre ses interstices, c'est pourquoi celui-ci se dégage par son élasticité, il sort de l'eau pour passer dans le récipient, où il est beaucoup plus au large; & sa sortie est visible, par l'ébullition qu'elle cause à la surface supérieure de l'eau.

Tout de même la matière subtile extérieure venant à diminuer de vitesse & de ressort, il faut qu'une partie de celle qui étoit renfermée dans le liquide en sorte; & cette effusion doit continuer, jusqu'à ce que le nombre, la tension & la vitesse des molécules de celle qui y reste, soient diminuées au point nécessaire, pour demeurer en équilibre avec la matière subtile du dehors. Or les parties intégrantes du liquide ne tenant leur mouvement que de la matière subtile qui les environne, il est clair que leur mouvement doit diminuer avec celui de cette matière. De-là naissent de plus grands frottemens entre leurs surfaces; parce que ces parties se rapprochent d'autant plus, ou deviennent d'autant plus denses, que les molécules qui doivent les tenir séparées, ou les faire glisser les unes sur les

autres, ont moins de vîteſſe & de reſſort. Ainſi le liquide diminuera un peu de volume, & commencera à ſ'engourdir & à être moins coulant. Mais ſi le froid augmente toujours, les frottemens & la denſité augmenteront avec lui, parce que l'agitation & le reſſort de la matière ſubtile intérieure, qui devoit les vaincre, diminuent; & il y aura bien-tôt pluſieurs des parties intégrantés du liquide qui ſ'appliqueront les unes ſur les autres, qui ſ'accrocheront ou ſ'entrelaceront, ſi elles ſont crochues ou rameuſes, ſans qu'elles puiſſent plus être ſéparées par le choc, ou par le reſſort des molécules affoiblies qui viennent encore les heurter. Les premiers aſſemblages de ces parties ſe trouveront vers les bords du liquide, & vers la ſurface; car c'eſt-là que l'eſſuſion de la matière ſubtile intérieure, & l'affoibliffement de ſon reſſort doivent commencer: mais ſi l'augmentation du froid continue, ou ſeulement ſi le froid perſévère dans un certain degré, à ces parties aſſemblées il ſ'en joindra bien-tôt d'autres, ſavoir, celles qui en ſeront les plus voiſines, à celles-ci d'autres encore, & enfin toute la maſſe du liquide demeurera fixe & immobile, elle ſera dure, elle occupera moins d'eſpace, en un mot elle ſera glacée. Ce n'eſt pas ici le lieu de parler des exceptions qu'il pourroit y avoir dans ces

circonstances à l'égard de certains liquides ; par exemple , de l'augmentation de volume dans la congélation de l'eau : elles dépendent , comme je le ferai voir dans la seconde partie , de certaines causes particulières , & je ne traite ici que de ce qui convient au plus grand nombre de liquides. J'envisage présentement la formation de la Glace de la manière la plus générale qu'il m'est possible , & que je crois aussi la plus importante & la plus curieuse.

CHAPITRE VII.

Par quels degrés on peut imaginer que la matière subtile diminue d'activité dans un liquide qui se gèle.

REMARQUONS pour une plus parfaite intelligence de la formation de la Glace , qu'il s'en faut bien que la matière subtile enfermée dans le liquide , & que nous avons remarqué ci-dessus devoir être beaucoup moins agitée que celle du dehors , conserve toujours un même rapport d'agitation & de ressort avec la matière subtile extérieure , lorsque le mouvement de celle-ci diminue. Car si l'on veut y regarder de près , on verra que la diminution de vitesse de la matière subtile intérieure , doit

être avec la diminution de vitesse de l'extérieure, en raison composée, 1° de la diminution de vitesse de cette dernière; 2° de l'augmentation des surfaces des parties intégrantes du liquide, c'est-à-dire, du plus grand nombre de surfaces qui viennent à se toucher & à glisser immédiatement les unes sur les autres, à mesure que l'agitation diminue; 3° de la plus grande densité ou pression, laquelle naît de l'affoiblissement de vitesse & de ressort des molécules de la matière subtile intérieure, selon que les parties intégrantes du liquide s'approchent davantage & se touchent par plus d'endroits.

C'est-à-dire, que si la matière subtile du dehors diminue de 4 degrés de vitesse, par exemple, celle du dedans diminuera beaucoup plus que de 4 degrés. Le détail d'un cas particulier va rendre sensible la proposition générale.

Supposons que le froid augmente d'un degré à chaque minute de temps, c'est-à-dire, que l'agitation de la matière subtile du lieu où est le liquide diminue à chaque minute, d'un degré. Cette diminution doit bien-tôt se communiquer à la matière subtile qui coule entre les interstices du liquide, par les raisons qu'on en a vûes. Mais puisque la diminution de vitesse de cette matière ne sauroit arriver, sans que les parties intégrantes du liquide ne s'approchent

un peu & ne se touchent par plus de surfaces qu'elles ne faisoient auparavant, en un mot, sans qu'elles ne glissent les unes sur les autres avec plus de difficulté; cette même difficulté, ces nouveaux obstacles & ces nouveaux frottemens sont une nouvelle occasion de diminution à la vîtesse de la matière subtile intérieure : car c'est la même chose que si elle avoit à vaincre de plus grandes masses & à les mettre en mouvement. Ainsi par la loi, qu'un corps perd de sa vîtesse selon qu'il en communique, l'augmentation de la masse sur laquelle la matière subtile intérieure auroit à distribuer une certaine vîtesse, feroit la diminution de sa propre vîtesse. Donc si l'augmentation des frottemens par l'augmentation des surfaces, est devenue égale, par exemple, à une augmentation de 2 de masse, il faudra multiplier la diminution précédente de 1 degré de vîtesse, par 2; ce qui fait 2, & voilà la vîtesse de la matière subtile intérieure diminuée de 2 degrés, tandis que la vîtesse de celle du dehors ne vient de diminuer que de 1. Mais comme la difficulté des mouvemens du liquide augmente, non seulement en tant que ses parties se touchent par plus de surfaces, mais aussi selon que leurs surfaces sont plus pressées les unes contre les autres, c'est-à-dire, selon que la densité du liquide est plus grande; si l'on

égale la difficulté qui naît de cette augmentation de densité à 3, il faudra encore multiplier la diminution précédente qui valoit 2, par 3; ce qui fait 6. De sorte que la vitesse ou l'agitation des molécules de la matière subtile intérieure du liquide aura diminué de 6 degrés, tandis que l'agitation de celle du dehors n'a diminué que d'un degré.

Pour appliquer un pareil calcul à la seconde minute, il faut prendre garde que les augmentations de surface & de densité doivent croître à proportion des diminutions précédentes de la vitesse: ainsi après avoir compté 2 d'augmentation de surface, & 3 d'augmentation de densité pendant la première minute, il faudra peut-être compter 3 de surface, & 4 de densité pour la seconde minute; ce qui donne douze degrés de diminution de vitesse pour cette seconde minute. C'est pourquoi l'on peut concevoir, par manière d'exemple, que les diminutions de chaque minute suivent quelque progression semblable, 6, 12, 24, 48, &c. & qu'après la quatrième minute, l'agitation de la matière subtile extérieure n'ayant diminué que de 4 degrés, celle de la matière subtile intérieure aura diminué de 6, plus 12, plus 24, plus 48, c'est-à-dire, de 90 degrés.

On voit par-là combien la matière subtile du dehors, dans cette interruption conti-

nue & successive de l'équilibre avec celle du dedans, doit gagner promptement des forces pour comprimer les parties intégrantes du liquide dont elle enveloppe toujours de plus en plus la masse totale, à mesure qu'elles se touchent davantage intérieurement. C'est par-là aussi que nous expliquerons en son lieu la promptitude avec laquelle la plupart des liquides se glacent, en comparaison de la lenteur avec laquelle ils se dégèlent. La diminution d'activité & de ressort de la matière subtile dans un liquide qui se gèle, y produit encore d'autres effets, tels que le dérangement des parties & des directions différentes entre ces parties, &c. dont nous parlerons dans la suite, après avoir établi les faits & les principes d'où l'on peut les déduire.

CHAPITRE VIII.

Des causes accidentelles & locales de la Congélation. Et premièrement du Nitre, & des autres sels contenus dans les terres & exaltés dans l'air.

JE ne vois pas de véritable cause, de cause immédiate de la congélation des liquides, autre que celle que nous venons de donner dans les chapitres précédens, la

diminution de mouvement, de quantité ou de ressort de la matière subtile contenue dans les liquides. Toutes les autres n'y contribuent qu'en tant qu'elles occasionnent celle-ci, & elles ne font, à proprement parler, que des causes moyennes & accidentelles. Il y en a donc autant de ces dernières, qu'il peut y avoir de manières différentes d'affoiblir l'activité de la matière subtile. Je ne toucherai que les plus générales.

Nous en avons déjà vû ci-dessus trois de ce genre; savoir, l'éloignement du Soleil, l'obliquité de ses rayons, la quantité d'air ou de vapeurs qu'ils peuvent avoir à traverser. Mais il y en a encore quelques autres plus ou moins fréquentes, ou plus étendues, selon le climat, le terrain, & quelques autres circonstances.

Je mets de ce nombre le Nitre subtil qui se répand quelquefois dans l'air, & qui y cause, même au milieu de l'été, un froid si violent, que les rivières & les lacs en sont glacés: car rien n'est si ordinaire, que de voir arriver ces prompts gelées dans les pays dont le terrain contient beaucoup de nitre & de salpêtre; comme, par exemple à la Chine, & dans la Tartarie Chinoise. Il y a dans le royaume de la Chine telle province aussi proche de l'Équateur que le Portugal & la Sicile, où il ne faut que creuser la terre à trois ou quatre pieds de

profondeur, pour en retirer *des mottes toutes gelées, & des monceaux de glace*, dans les mois de Juillet & d'Août. (a)

La plûpart des sels fossiles, & sur-tout le sel ammoniac, lorsqu'il s'en trouve dans les terres, produisent de semblables effets. M. de Tournefort rapporte, qu'étant autour d'Erzerom ville capitale de l'Arménie, il y vit fréquemment de la glace, & y éprouva un très-grand froid, tout proche du solstice d'été. (b) *L'eau*, dit-il, *dans laquelle nous avons mis nos plantes, pour les conserver, & pour les décrire le lendemain, (20^{me} Juin) se gela la nuit de l'épaisseur de deux lignes, quoiqu'elle fût à couvert dans un bassin de bois. Je crois, ajoute-t-il, qu'outre le sel fossile, qui n'est pas rare dans ces quartiers, la terre est pleine de sel ammoniac, qui entretient les neiges pendant dix mois de l'année sur des collines à peu près semblables au Mont-Valérien. Où il faut remarquer qu'Erzerom n'est tout au plus qu'au 40^{me} degré de latitude.*

Ce qui se passe en grand dans ces provinces de la Chine & de l'Arménie, peut

(a) Dans la province de *Leaotum*, entre les 38 & 42 degrés de Latitude. *Voyage de l'Empereur de la Chine dans la Tartarie occidentale en 1683*. Recueil des Voyages au Nord, T. III, p. 329. Voyez sur la Tartarie Chinoise, l'*Atlas Sinens.* du P. Martini.

(b) *Voyage du Levant. Lett. XVIII à M. de Pontchartrain.*

être observé en petit dans les endroits où l'on fait *torréfier* la mine de cuivre. La quantité prodigieuse de corpuscules salins vitrioliques qui s'en élèvent avec la fumée, & qui se répandent dans l'air à une ou deux lieues à la ronde, y produit un froid extrême, que les Mineurs & les habitans du pays ne manquent pas d'attribuer à cette cause. C'est ce qui m'a été particulièrement assuré des mines de Fahlun * ou de Coperberg en Suède, dans la Dalécarlie, pays d'ailleurs très-froid par lui-même, mais où cette circonstance locale augmente sensiblement les rigueurs du climat.

La fameuse Grotte de Franche-Comté, à cinq lieues de Besançon, vulgairement appelée *la Glacière*, nous fournit un autre exemple de ces cas particuliers. En été il y fait un froid insupportable; le fond en est couvert de 3, 4 à 5 pieds de glace, selon la quantité d'eau qui y est tombée de la voûte, & le dégel n'y commence que vers le mois de Septembre. M. Billerez Professeur d'Anatomie & de Botanique à Besançon, qui envoya une relation de cette grotte à l'Académie des Sciences, en ayant examiné le dedans & les environs, en donne pour raison, *que les terres du voisinage, & sur-tout*

* Par M. Camus, qui le tenoit des officiers de ces Mines, dans son voyage à Torno, pour la mesure de la Terre.

celles du dessus de la voûte, sont pleines d'un sel nitreux, ou d'un sel ammoniac naturel. Ces sels, dit-il, mis en mouvement par la chaleur de l'été, se mêlant plus facilement avec les eaux qui coulent par les terres & par les fentes du rocher, pénètrent jusque dans la grotte; ce mélange les glace précisément de la même manière que se font les glaces artificielles, & ce qu'est un petit vase dans cette opération, la grotte l'est en grand. L'Académie a reçu depuis une description de cette grotte beaucoup plus exacte, plus détaillée, & accompagnée de remarques curieuses, par M. Cosigny, Ingénieur en chef à Besançon, & Correspondant de la Compagnie. Il y a, sans doute, beaucoup à rabattre de tout ce qui se dit de merveilleux de cette grotte; mais l'observation & la conjecture de M. Billerez subsistent quant au fonds, & à l'usage que nous en faisons présentement.*

Sa comparaison des glaces artificielles, qu'on fait par le moyen des sels, est très-juste, & m'oblige, en l'adoptant, à anticiper ici sur ce que j'aurai à dire de ces fortes de glaces. On y verra que le sel ammoniac, le sel marin & le salpêtre refroidissent non seulement la glace dont ils occasionnent la fonte, mais aussi l'eau pure où ils sont mêlés & dissous, & qu'en certains cas ils la refroidissent bien au delà du terme de la congé-

* Hist. del'Acad. 1712. p. 23.

lation, quoiqu'ils l'empêchent de se geler. Or on doit concevoir que plusieurs molécules de terre humides, plusieurs petits amas ou filets d'eau imprégnés de ces sels, se trouvant extrêmement refroidis dans la terre par ces sels, comme le mélange de sel & de glace, employé aux glaces artificielles, refroidissent à peu près de même toutes les particules d'eau pure qu'ils entourent, & les congèlent. Et voilà très-vrai-semblablement comment dans des climats tempérés & pendant que la chaleur se fait sentir dans tous les lieux d'alentour, se forment de proche en proche *ces mottes toutes gelées, & ces monceaux de glace*, qu'on retire de la terre dans les pays où elle contient beaucoup de ces sels.

Quant aux corpuscules salins, nitreux & ammoniacaux répandus dans l'air, soit qu'ils s'y exaltent du terrain même du pays, ou qu'ils y soient apportés des pays voisins par les vents, ils doivent aussi refroidir l'air, non seulement parce que la froideur du terrain s'y communique en partie, que la région inférieure de l'atmosphère est presque toujours plus ou moins chargée d'eau ou d'humidité, & que c'est, comme nous venons de dire, une des principales propriétés des sels, de refroidir l'eau où ils sont mêlés, mais encore par la raison qui suit.

L'air est, selon toute apparence, un fluide branchu & rameux, & l'atmosphère, comme

un composé de petites lames à ressort, soit spirales, soit de telle autre figure qu'on voudra, la plus propre à leur donner du ressort *; car c'est de leur ressort qu'on peut conjecturer la manière dont elles sont faites.

Imaginez au contraire les parties intégrantes de la plupart des sels, comme de petites pyramides, droites, roides & aigues, comme des aiguilles anguleuses, ou des lancettes tranchantes. On les juge ainsi par le picotement qu'ils excitent sur les fibres du palais, & sur les papilles nerveuses de la langue, par les esprits qu'on en retire, qui sont de forts & prompts dissolvans, par les figures qu'ils affectent dans leurs crySTALLISATIONS, & si l'on en croyoit quelques Observateurs, par la figure même qu'on a vû qu'ils avoient, par le moyen du microscope.

Cela posé, imaginons qu'une grande quantité de corpuscules salins viennent à s'exalter, & à se répandre dans l'air, soit par la chaleur du Soleil, soit par telle autre cause qu'on voudra. Ce seront tout autant de clous ou de petits dards qui s'enfonceront & s'embarrasseront entre les rameaux de l'air ou entre ses lames spirales; & réciproquement, ces rameaux & ces lames étant embarrassées par eux, se joindront plusieurs ensemble, feront des pelotons plus gros & plus serrés qu'auparavant, & cet air &

* Hist. de l'Acad. des Sc. 1702, p. 2, &c.

ces corpuscules nitreux formeront un tout moins fluide & plus dense. C'est ainsi que l'esprit de nitre, ou seulement la fumée qu'il produit dans certaines dissolutions, fige l'huile d'olive, & la réduit en substance de graisse ou de suif; parce que vraisemblablement les parties de l'huile sont branchues & rameuses comme celles de l'air. Or que l'activité communiquée par le soleil à la matière subtile, soit émoussée par une plus grande épaisseur d'atmosphère à traverser, comme il arrive en hiver, ou par un assemblage d'air & d'autres corps qui forment un tout plus dense, moins divisible, & plus propre à éteindre le mouvement du fluide qui se meut entre ses interstices & qui le pénètre; que ce soit, dis-je, par telle de ces deux causes qu'on voudra, que la matière subtile se trouve affoiblie, c'est, quant à l'effet, une seule & même chose. De l'affoiblissement de la matière subtile suivra la congélation des rivières, des lacs, & des veines d'eau qui coulent près de la superficie de la terre, ou de l'eau quelconque qui s'y est introduite.

Il est vrai qu'à l'égard de ces glaces qu'on trouve sous terre en été, dans quelques provinces de la Chine, & dans plusieurs autres pays encore plus méridionaux, il y a apparence qu'elles subsistent long-temps après que celles qui étoient exposées à l'air libre

sont fondues; car cet air y peut moins pénétrer, & lorsqu'il y pénètre, ce n'est qu'après s'être chargé d'une très-grande quantité de corpuscules nitreux ou de tels autres sels, en passant au travers d'une terre où ils abondent. Il en est de même des vapeurs & des exhalaisons, qui pourroient fondre ces glaces : le nitre ne les embarrasse pas moins, & conséquemment toute la matière subtile ambiante en est engourdie. Il doit même arriver souvent dans ces endroits, que les glaces se fondent plutôt en hiver qu'en été : car dans l'été la chaleur du Soleil volatilise le nitre, & le met en état de s'incorporer & de s'embarrasser avec l'air & avec les exhalaisons de la terre, au lieu qu'en hiver ses pointes s'affaissent plus aisément les unes sur les autres, & perdent par-là le degré d'activité nécessaire pour pénétrer l'air & les exhalaisons. Ainsi un froid modéré doit être plus propre à fondre les glaces souterraines dans les pays abondans en nitre, ou en sel ammoniac, qu'une extrême chaleur.

CHAPITRE IX.

Seconde cause accidentelle de la Congélation, le Vent.

DANS un temps froid & qui tend à la gelée, le vent sec contribue aussi beaucoup à la Congélation : car l'air qui se trouve en repos sur la surface d'un liquide, prend à peu près le degré de froideur de ce liquide. Or avant la congélation, ce liquide n'est pas au degré de froideur de l'air qui doit le glacer : donc l'air qui touche sa surface, & qui ne peut manquer de participer à sa température, n'est pas encore au degré de la congélation, & par conséquent il y laisse alors à la matière subtile plus de liberté de se mouvoir, que lorsque par la communication d'un air plus froid il sera devenu lui-même plus froid ou plus dense. Ainsi la matière subtile qui coule entre les interstices du liquide, & dont le mouvement est toujours proportionné au mouvement de celle qui l'entoure immédiatement, n'est pas encore assez affoiblie pour permettre la congélation. Mais si l'on hâte la communication de la froideur à la surface du liquide, en chassant violemment l'air qui la touche, & en mettant à sa place un air plus froid & plus dense, & tel qu'il le faut pour procurer

la congélation, on affoiblira la matière subtile extérieure qui touche le liquide, & par ce même moyen, celle qui y est renfermée, laquelle doit toujours diminuer de mouvement jusqu'à ce qu'elle soit abaissée au degré nécessaire pour demeurer en équilibre avec la première. Cependant cet affoiblissement n'iroit pas encore au degré de la congélation, si le nouvel air restoit en repos dans cet état; car il acquerroit & il retiendrait pendant quelque temps un peu de la chaleur qui étoit auparavant dans le liquide, & le tout, c'est-à-dire, ce nouvel air, la matière subtile qui y est engagée, & celle qui est dans le liquide, se mettroit à un degré moyen de froideur qui participeroit de la froideur précédente du liquide, & de la froideur répandue aux environs dans l'air extérieur. Mais si l'on continue à chaque instant de chasser l'air de dessus la surface du liquide, & qu'on y en substitue toujours un qui soit au degré de froideur nécessaire pour la congélation, il est évident qu'à la fin il communiquera au liquide son degré de froideur, ou diminuera son mouvement jusqu'à la congélation.

Or c'est-là ce que fait le vent, il emporte continuellement l'air chaud ou moins froid qui étoit sur la surface du liquide, pour se mettre à sa place, & c'est par-là qu'il rend la congélation plus prompte. Ce n'est qu'en

chassant ainsi de dessus notre peau une petite atmosphère d'air échauffé par la chaleur du sang & par la transpiration, qu'un éventail excite en nous le sentiment de fraîcheur.

Bien des gens s'imaginent au contraire, que le vent est un obstacle à la formation de la glace ; & il est vrai que lorsque le vent a beaucoup de prise sur une grande surface d'eau, comme sur les fleuves, sur les lacs & sur les mers, il les empêche quelquefois de geler, en tant qu'il les agite, qu'il ôte à plusieurs parties intégrantes du liquide le temps de s'unir, & qu'il sépare par des secousses continuelles celles qui s'étoient déjà unies, & qui alloient bientôt former une croûte sensible de glace. Mais il est toujours certain en général, que le vent doit accélérer la congélation, par la raison que nous en avons donnée.

Pour s'en convaincre, il n'y a qu'à en faire l'expérience en même temps en deux lieux différens, & l'on verra combien l'eau exposée à un vent sec, dans un vaisseau médiocrement large, sera plus promptement gelée que celle qu'on aura mise à l'abri du vent, quoique le froid y soit le même, à ne considérer que la température actuelle & générale de l'air. Cela va quelquefois au point, que la même eau transportée d'une exposition tranquille où elle étoit depuis quelques heures sans geler, à une exposi-

tion contraire, se glace dans la minute & presque dans l'instant.

Du reste on voit bien, que quand les vents ont passé par des montagnes couvertes de neiges, ou sur des terres fort nitreuses, ils en sont d'autant plus propres à produire & à hâter la congélation, & qu'ils deviennent alors une cause compliquée avec les précédentes.

On allègue en faveur de l'opinion commune sur les effets du vent par rapport à la congélation, que non-seulement le thermomètre ne baisse pas au vent, mais encore qu'il hausse, lorsqu'on en souffle la boule avec un soufflet.

Mais le thermomètre ne baisse pas au vent (du moins cela n'est-il guère sensible) parce que le verre ne permettant point le passage au nouvel air que le vent apporte, & le vent n'étant point par lui-même plus froid que l'air calme, la liqueur y est toujours exposée au même degré de froid, tant que l'instrument est dans un air également froid, sans que l'agitation ou le calme y causent aucune altération. Et il hausse sensiblement lorsqu'on pousse de l'air contre la boule avec un soufflet * ; parce que cet air est réellement plus chaud que celui qui étoit auparavant autour du thermomètre ; soit à cause du lieu d'où est pris ordinairement

* Mém. de l'Acad. 1710, p. 544. 546.

rement le soufflet, soit à cause de la double agitation que reçoit cet air, par l'attraction & par la compression du soufflet, où il entre par une soupape, & d'où il sort par un tuyau étroit, & avec violence; car il faut soigneusement distinguer cette agitation & ce mouvement, pour ainsi dire, intrinsèque de l'air par l'action du soufflet, du mouvement général du vent qui n'est que le transport continu d'une grande masse d'air ou d'une partie de l'atmosphère d'un lieu à un autre.

Nous verrons encore mieux & sous un autre aspect dans la seconde partie, comment un air agité peut hâter la congélation des liquides, & un air tranquille la retarder.

CHAPITRE X.

Troisième cause accidentelle de la Congélation & des Gelées; la suppression ou la diminution des vapeurs chaudes qui s'élèvent du sein de la Terre.

VOICI une nouvelle cause de la congélation, & sur-tout des grandes gelées, moins visible, & par-là moins connue que les précédentes; mais, à mon avis, aussi réelle, aussi fréquente, plus efficace & plus générale, parce qu'elle tient au principe

intime & permanent de la structure du globe terrestre.

La supposition d'un souffle central, ou de vapeurs chaudes qui s'élèvent continuellement du fond de la terre, étant admise, il est évident qu'on ne sauroit les supprimer en tout ou en partie, sans que la chaleur qui en résulteroit sur la terre & dans l'air, n'en soit diminuée, ou, ce qui revient au même, sans que le froid n'en soit augmenté. Si l'on ajoute ce froid à celui que comportoit actuellement le climat, par la cause générale de la vicissitude des saisons, & par les circonstances locales, il produira nécessairement des effets proportionnels à son intensité; & si cette intensité est telle par elle-même, ou par sa complication avec tout le reste, qu'elle égale ou qu'elle surpasse dans son résultat, le degré de froid de la congélation, il n'est pas moins évident que la gelée doit s'en ensuivre.

Il ne s'agit donc que de savoir sur quelles preuves, ou sur quel principe je fonde cette supposition.

CHAPITRE XI.

*Du Feu central ou intérieur de la Terre,
& des principaux phénomènes qui
en dépendent.*

PLUSIEURS auteurs très-éclairés, tant anciens que modernes, ont reconnu un feu central dans la terre, ou une chaleur quelconque très-profonde. Les uns & les autres en ont déduit l'explication de quantité de phénomènes; mais aucun, que je sache, n'en a établi l'existence & les effets de la manière qui suit.

Je donnai en 1719 à l'Académie des Sciences un Mémoire qui fut imprimé parmi ceux de la même année, & qui a pour sujet *la cause générale du froid en hiver, & de la chaleur en été.* Il est démontré dans ce Mémoire, que la chaleur de l'été, dans le climat de Paris, au solstice d'été, en tant qu'elle résulte de cette cause, c'est-à-dire, de l'action du Soleil sur la terre, est à la chaleur de l'hiver, au solstice d'hiver, tout au moins comme 66 est à 1.

Par les observations & les expériences immédiates de M. Amontons, sur la chaleur de l'été & de l'hiver dans le même climat, & aux solstices, la première est à la seconde comme 60 est à $51 \frac{1}{2}$, ces nombres expri-

mant des pouces de son thermomètre, ou à peu près, en raison de 8 à 7. C'est-à-dire, *que le chaud qu'il fait aux rayons du soleil à midi dans le solstice d'été, ne diffère du froid qu'il fait quand l'eau se glace, qu'environ comme 60 diffère de 51 $\frac{1}{2}$, ou 8 de 7, & que la même matière qui produit par son agitation les plus grandes chaleurs & les plus insupportables de notre climat, ayant alors 8 degrés de mouvement, elle en a encore 7, lorsque nous sentons un froid extrême **.

Comment accorder des résultats si différens, le rapport de 66 à 1 d'un côté, & celui de 8 à 7 seulement de l'autre ?

Il ne sera pourtant pas difficile de les concilier, si l'on considère, qu'il n'est question dans mon Mémoire, que de la cause générale & extérieure de la vicissitude des saisons, qui est le Soleil, & de la chaleur qui doit en résulter dans les deux solstices ; au lieu que les observations & les expériences de M. Amontons, tombent sur la chaleur totale & absolue provenant du concours de toutes les causes quelconques, tant internes qu'externes, qui produisent la chaleur dans l'une & l'autre saison. C'est de là, & par une courte analyse, que je conclus qu'il y a donc par toute la terre un fonds de chaleur indépendant de la vicissitude des

* Hist. de l'Acad. 1702, p. 7.

faisons : car des observations semblables qu'on a faites dans la plupart des pays connus, & de semblables inductions que nous en pouvons tirer, ne permettent pas de douter que le même principe ne soit applicable à tous les pays, sauf les modifications qu'y apportera peut-être la complication des autres causes, telles que la latitude & la situation du lieu, la nature du sol, &c. C'est par-là, dis-je, & d'après les élémens de calcul donnés, que je trouve ce fonds permanent de chaleur pour le climat de Paris 393 fois plus grand que le degré de chaleur de l'hiver, en tant que celui-ci ne résulteroit que de la cause générale de la vicissitude des saisons. Prenant donc cette chaleur de l'hiver pour l'unité, il y aura ordinairement dans le climat de Paris, une base, pour ainsi dire, de chaleur permanente, d'environ 393 degrés, sur laquelle s'élève alternativement le degré unique de chaleur de l'hiver, & les 66 degrés de chaleur de l'été, produits par la cause générale de la vicissitude des saisons, & dont les sommes seront à peu près dans le rapport absolu de 7 à 8 que donne l'observation immédiate. On en peut voir le détail & la démonstration dans le *Mémoire même*.

Du reste, que ce soit un feu véritablement central, ou très-profond, inné avec le Globe terrestre, ou acquis, au moyen

des rayons du Soleil, qui échauffent toujours également ou à peu près, un de ses hémisphères, c'est ce que je ne discuterai point ici; quoique bien des raisons me persuadent, qu'il tient à la structure interne de la Terre, & des planètes en général. Il me suffit que l'existence n'en soit pas douteuse.

La chaleur de ce feu se fait sentir dans les excavations profondes, & selon qu'elles sont plus profondes. Il ne faut pas creuser bien avant pour trouver d'abord une chaleur constante & qui ne varie plus, quelle que soit la température de l'air à la surface de la terre. On sait que la liqueur du thermomètre se soutient toujours sensiblement pendant toute l'année à la même hauteur dans les caves de l'Observatoire, qui n'ont pourtant que 84 pieds ou 14 toises de profondeur, depuis le raiz de chauffée; c'est pourquoi l'on fixe à ce point la chaleur moyenne ou tempérée de notre climat.

Cette chaleur se soutient encore ordinairement, & à peu de chose près la même, depuis une semblable profondeur jusqu'à 60, 80 ou 100 toises, & au delà, plus ou moins, selon les circonstances, comme on l'éprouve dans les mines: après quoi elle augmente, & devient quelquefois si grande, que les ouvriers ne sauroient y tenir & y vivre, si l'on ne leur procuroit pas quelque

rafraîchissement, & un nouvel air, soit par des *puits de respiration*, soit par des chûtes d'eau *, & cela aussi à cause des vapeurs nuisibles dont il faut les garantir.

Je crois cependant que cette augmentation de chaleur, lorsqu'elle est bien sensible, & ces chaleurs insupportables qu'on n'éprouve guère que dans les mines très-profondes & au delà de deux ou trois cens toises, sont plutôt l'effet des vapeurs sulphureuses, ou des feux réels qui s'allument en ces endroits par le conflit de l'air & de quelques autres circonstances locales, que du plus de proximité du foyer central. Ce foyer, ou ce feu central, en est bien la cause, en tant qu'il s'exhale plus abondamment par des terres plus poreuses, ou par de plus larges canaux; mais il ne l'est pas relativement à la distance & proportionnellement à son plus de proximité: car qu'est-ce que trois cens toises, par exemple, de plus ou de moins sur plus de trois millions qu'en contient le rayon du Globe terrestre? Ce n'en est pas la dix millième partie; & l'augmentation ou la diminution de chaleur qui en résulteroit, n'iroit guère qu'à un cinq millième, en prenant le rapport inverse des quarrés de distance, comme il convient à toute émanation centrale.

* Boyle, *de Temperie subterranearum regionum, ratione Caloris & Frigoris*. Boerhaave, *Chemia t. 1. De Aere, &c.*

Si dans l'hypothèse du feu véritablement central, les couches extérieures de la terre, c'est-à-dire, de trois ou quatre mille toises au dessous de sa surface, étoient d'une substance & d'un tissu homogènes, la chaleur, en tant qu'elle émaneroit de ce centre, & autant que nous pouvons en approcher, n'augmenteroit donc que par degrés insensibles, & lorsqu'elle augmente sensiblement, nous devons conclurre que ces couches ne sont pas homogènes.

M. Micheli du Crest, dans sa *Description de la Méthode d'un Thermomètre universel*, nous apprend, quoique dans un tout autre esprit, qu'il avoit reçu le détail d'une observation faite à Ardinghem, entre Calais & Boulogne, dans une mine dont la profondeur est de 447 pieds, 74 $\frac{1}{2}$ toises, où deux de ses thermomètres s'arrêtèrent précisément au point de la température des caves de l'Observatoire.

Il y a quelques années que je priai M. de Gensane, Correspondant de l'Académie des Sciences, & Directeur des Mines de Franche-Comté & d'Alsace, de faire là-dessus quelques expériences; il m'apporta peu de temps après des coupes & des desseins des mines de Giromagny, qui sont au pied de la montagne nommée le Balon, à 3 lieues de Belfort dans la haute Alsace, & les observations qu'il y avoit faites avec le baromètre,

& sur-tout avec le thermomètre. Il résulte de ces dernières, qu'au mois de Décembre 1744, le thermomètre de M. de Reaumur étant, auprès de la mine, à 2 degrés au dessus du point 0 de la congélation, il monta, étant mis à l'entrée du puisard ou de la mine, à 8 degrés. Étant porté à 52 toises de profondeur verticale, il se soû tint à 10 degrés, c'est-à-dire, à peu près au tempéré des caves de l'Observatoire, & ainsi de suite, dans cet ordre,

<i>Toises de profondeur.</i>	<i>Degrés du Thermomètre.</i>
52	10
106	10 $\frac{1}{2}$
158	15 $\frac{3}{4}$
222	18 $\frac{1}{6}$

Ce qui n'approche pas des grandes chaleurs de notre climat, & qui étant réduit à la réalité indépendante de nos sensations, ne formera qu'un accroissement très-peu considérable. Car soient 210 de ces degrés du thermomètre la partie qui répondroit à la base permanente de chaleur de notre climat, & que nous avons évaluée sous un autre point de vûe à 393; la progression précédente se changera en celle-ci,

*Toises de profondeur.**Degré de chaleur.*

52	210
106	210 $\frac{1}{2}$
158	215 $\frac{3}{4}$
222	218 $\frac{1}{6}$

Où le plus grand terme n'excède le plus petit que d'environ $\frac{1}{26}$. Excès que les moindres inégalités de consistance dans le terrein peuvent produire ; mais toujours du côté du centre , d'où vient le plus de chaleur. Du reste , quoique le nombre 210 ne soit pas pris ici au hasard , & qu'il approche assez du véritable converti en degrés du thermomètre , je ne le donne cependant que par manière d'exemple , ne voulant pas entrer là-dessus dans un détail de calcul qui nous écarteroit trop de notre principal objet.

En rabattant le merveilleux , & la plus grande partie de ce qu'on nous rapporte de l'excessive profondeur des mines de sel de Villuzka en Pologne à deux lieues de Cracovie , il reste pour vrai qu'elles sont très-profondes , & qu'il y a toujours dans cette espèce de gouffre , qui est fort vaste , un grand nombre d'habitans ou de travailleurs. Cependant on ne fait aucune mention de la chaleur qu'on y éprouve , & il y a grande apparence qu'elle est fort tempérée. Peut-être que les corpuscules salins répandus dans l'air qu'on y respire , contribuent à cette

température, conformément à ce que nous en avons dit dans un des chapitres précédens.

Quoi qu'il en soit, la chaleur égale & permanente qui règne dans toute cette couche assez épaisse du globe terrestre, depuis la profondeur des caves de l'Observatoire, ou telle autre, selon les circonstances des lieux, sera toujours le signe le plus distinctif du feu central ou intérieur dont nous avons démontré la réalité. L'augmentation quelconque de chaleur depuis cette couche vers le centre, & constamment vers le centre, quelles qu'en soient les intensités, achève de le rendre palpable. Tout le reste se complique avec d'autres causes, avec la nature du terrain & les matières inflammables ou non inflammables dont il est composé, & sur-tout avec la direction & la distribution, ou accidentelle, ou organique, des canaux par où ce feu s'exhale. De-là des tremblemens de terre, par la rencontre fortuite du feu avec un air très-dense par sa profondeur, & subitement enflammé dans les cavernes souterraines*. De-là les volcans qui existent actuellement, ou qui ont autrefois existé dans presque toutes les grandes montagnes; & de-là enfin la formation de la plûpart de ces montagnes: car il semble, à en juger par les vestiges qui nous en restent, que ce soit à ces points de la croûte extérieure du globe, que

* Voy. Mém. de l'Acad. des Sc. 1703, p. 101.

le feu a redoublé de force, & par où il s'est fait jour, en soulevant & fracassant ces immenses couches de rocher qui s'opposoient à ses éruptions.

CHAPITRE XII.

Effets sensibles du Feu central dans la Mer, & sur les eaux de la Mer.

LES expériences nous manquent sur ce sujet; cependant le peu que nous en avons, l'analogie qui règne dans tout ce qu'on vient de voir, & quelques faits particuliers, ne nous permettent pas de douter que la Mer ne se ressente de cette chaleur centrale ou très-profonde que nous venons de démontrer & de décrire par rapport aux grands Continens.

M. le Comte Marfigli, à qui les Sciences sont si redevables, nous apprend dans son Histoire physique de la Mer, qu'ayant plongé un thermomètre en divers lieux, & à diverses profondeurs, dans les mois de Décembre, de Janvier, Mars & Avril, il trouva que la température à la profondeur de 10, 20, 30, 120 brasses, étoit toujours également de $10\frac{1}{2}$ degrés, ou de $10\frac{3}{4}$ *. Il le plongea aussi au

* Hist. phys. de la Mer, p. 16. Ces expériences furent faites sur le golfe de Lion, vers l'an 1709, avant & après, comme il paroît par l'Eloge de l'Auteur. Hist. de l'Acad. des Sc. 1730, p. 139.

mois de Juin, & je ne fais par quelles circonstances la liqueur y descendit 3 ou 4 degrés plus bas, selon la Table qu'il nous en a donnée. Mais quoi qu'il en soit, ces observations reviennent parfaitement à notre idée, par la chaleur sensiblement uniforme qu'elles donnent à la mer en différens temps, au dessous de 10 brasses ou 10 toises de profondeur, & jusqu'à 120 toises. Tout ce qu'il y auroit à désirer, c'est que l'Auteur nous eût indiqué quelque terme fixe de chaleur ou de froideur auquel on pût rapporter les degrés de son thermomètre. Cependant on peut juger par l'inspection de l'instrument même qu'il a représenté dans une de ses planches, & à certaines marques qu'il y a ajoutées, que ces $10 \frac{1}{2}$ degrés de chaleur ne s'éloignent pas de ce que nous appellons le tempéré, & qu'il semble nous désigner par le mot de *température* *.

Ce témoignage de M. le C. Marsigli est d'autant plus positif, qu'il est rendu en quelque sorte contradictoirement à celui du fameux Boyle qui avoit traité *du fond de*

* Il y a une marque sur ces $10 \frac{1}{2}$ degrés, & la liqueur est pourtant arrêtée au $44 \frac{1}{2}^{\text{me}}$, 34 degrés au dessous, comme si c'étoit-là le point où elle étoit sur la Terre, avant que l'instrument fut plongé dans la Mer. Je crois qu'il vaudroit mieux encore faire ces expériences avec la Sonde de M. Hook, décrite dans l'*Essai d'Instructions sur les Voyages, T. I. des Voyages au Nord*, ou semblable, par le moyen de laquelle on retirât de l'eau du

la mer, & de la température des régions sous-marines, mais, selon M. le C. Marfigli, d'une manière très-imparfaite, soit qu'il eût été prévenu par la mort, ou que quelque autre accident qui ne nous est pas connu, l'eût empêché d'y mettre la dernière main.

Voyons pourtant ce qu'a pensé M. Boyle sur le fait dont il s'agit. *C'est*, dit-il, *une erreur vulgaire de s'imaginer que les eaux les plus profondes de la mer soient toujours très-chaudes; & il croit au contraire, d'après plusieurs relations qu'il s'étoit procurées, qu'en général la température des régions inférieures de la mer est froide.* Sur quoi j'ai à faire quelques remarques.

Selon notre théorie même, les eaux profondes de la mer ne sauroient être ordinairement très-chaudes, si, par très-chaudes, (*calidissimæ*) on entend que la chaleur de ces eaux surpasse de beaucoup la température qui résulte en général des émanations du feu central, & celle des eaux supérieures.

Je ne fais aussi ce que signifie, à l'égard de de cette région inférieure, la qualification de froide, (*frigida est*) tant que je n'aurai

fond de la Mer sans mélange, & en assez grand volume pour qu'elle conservât à peu près sa température dans l'intervalle du temps qu'on emploie à la monter, & qu'on y plongeât le thermomètre sur le champ; ou, au défaut d'une pareille Sonde, qu'on se servît d'un thermomètre dont la boule fût fort grosse, & la marche fort lente.

point un terme de comparaison pour en évaluer la froideur; car peut-être n'est-ce que ce que j'appelle la température résultante du feu interne auprès de la surface du Globe.

De plus, par la loi inviolable d'hydrostatique, qu'il est très-important de ne pas perdre de vûe, & qui fait ici la grande différence entre les continents & la mer, les eaux les plus chaudes, & par conséquent, toutes choses d'ailleurs égales, les plus légères, doivent continuellement monter au dessus de celles qui le sont moins. Ce qui donnera à toute cette grande couche liquide du Globe terrestre, une température à peu près égale, conformément aux observations de M. le C. Marfigli; excepté vers la superficie actuellement exposée aux impressions de l'air, & où l'eau se gèle quelquefois, avant que d'avoir eu le temps de descendre par son poids & par son refroidissement.

Je dis enfin, que M. Boyle n'ayant pas eu des observations où l'on ait employé le thermomètre, ayant parlé seulement d'après la sensation toujours relative & équivoque des plongeurs, ou d'après la froideur acquise de la sonde jugée au tact, soit à quelques toises de profondeur dans les mers du Nord dont ils n'avoient pû soutenir la froideur, soit à de plus grandes profondeurs dans les mers des Indes, on ne sauroit rien statuer

de fixe ni de concluant sur de pareilles expériences.

Il est comme démontré, que si le fond de la mer ne se ressentoit pas des émanations continuelles du feu central, les eaux y seroient toujours non seulement froides, & très-froides, à cent ou deux cens brasses de profondeur, & à plus forte raison, à trois ou quatre cens *, mais encore absolument glacées, comme les mers du Groenland & de la nouvelle Zemble dans le plus fort de l'hiver. Car 1° la surface de la mer ne se glace dans ces pays circompolaires, que par le refroidissement de l'air, & ce refroidissement ne vient que de l'affoiblissement de la cause générale & extérieure de la chaleur. 2° Cette cause, l'action des rayons solaires, ne pénètre certainement pas d'ordinaire à plus de 10 ou 12 pieds de profondeur dans la terre, comme les glaciers qui s'y maintiennent le justifient. 3° Si nous ne faisons que comparer en cela la terre & l'eau, relativement à leurs pesanteurs spécifiques, nous trouverions que les rayons du Soleil n'échaufferoient pas la mer au delà de 20, 25, ou 30 toises de sa sur-

* On a filé la Sonde à cette profondeur, & bien au delà, sans trouver terre. Quelques Marins ont cru qu'elle ne pouvoit descendre si bas, ni à beaucoup près; mais c'est un préjugé qui n'est fondé sur aucune bonne raison, & que l'expérience dément. Fournier, *Hydrographie*, p. 607. Marfigli, *ubi sup.* p. 10.

face. Mais donnons aux eaux de la mer le décuple, le centuple, s'il le faut, de cette épaisseur qu'exige la terre pour conserver la froideur de la gelée, & cela, si l'on veut, en vertu de la transparence de ces eaux; quoiqu'elles la perdent, ou qu'on ne voie plus à travers au delà de 256 pieds $42\frac{2}{3}$ toises *, & que la transparence n'exclue ni la froideur, ni la congélation, puisque la glace est transparente. Que sera-ce à 2, 3 ou 4 cens toises de profondeur? Donc les eaux de la mer seroient toujours glacées à de semblables profondeurs, si quelque feu encore plus profond ne les y entretenoit dans leur état de liquidité.

Il y a donc certainement sous le bassin de la mer un principe de chaleur, & de quelque manière qu'on l'entende, il y a du feu, puisqu'il en sort de toutes parts. Le bassin de la mer a du moins, comme le reste de la Terre, ses volcans dont les éruptions se manifestent par la formation subite des nouveaux écueils, & par la naissance des Isles encore fumantes; par les trombes marines, qui ne sont vrai-semblablement qu'une suite de ces éruptions moins complètes, lorsque le soulèvement des terres du dessus n'a pas été si étendu, ou n'a pû parvenir jusqu'à la surface de l'eau; par les vestiges

* Essai d'Opt. sur la grad. del a Lum. par M. Bouguer, p. 85.

de feu, les pierres calcinées & légères dont elle se couvre quelquefois tout à coup, *sur un espace de quatre ou cinq cens lieues*, à plusieurs centaines de lieues loin des côtes (a), & sans qu'il y ait aucun volcan à la ronde; & enfin par le bouillonnement, vrai ou apparent, des eaux, soit qu'on y sente *une chaleur immodérée qui en défend l'accès*, comme il arriva autour du nouvel écueil qui parut en une nuit près de l'Isle de Santorin (b), soit que cette espèce de bouillonnement ne vienne que des eaux plus chaudes du dessous, & par-là plus légères, qui montent sans cesse au dessus.

CHAPITRE XIII.

Autres effets du Feu intérieur quelconque de la Terre.

NÉ nous laissons point d'éclaircir par des exemples une matière si importante pour notre sujet, & si intéressante par elle-même.

Tout fluide qui tend à se dilater, quelle qu'en soit la cause, tend également à repousser ce qui s'oppose à ses dilatations: il est impulsif par cela même qu'il est expansif. Or, comme l'a montré M. Boerhaave

(a) Hist. de l'Acad. des Sc. 1743, p. 32.

(b) Hist. de l'Acad. des Sc. 1708, p. 23.

dans la Chymie, par mille raisons de théorie & d'expérience, de toutes les propriétés du feu la plus incontestable & la plus essentielle, c'est l'expansion. La vapeur chaude & subtile, cette atmosphère qui environne les corps solides brûlans ou échauffés, en un mot les émanations de tout feu central, seront donc aussi impulsives, & agiront perpendiculairement au corps échauffé; & celles de la Terre agiront encore ainsi par leur tendance de légèreté qui les dirige sans cesse en sens contraire aux impulsions de la pesanteur, comme la flamme. Une expérience très-familière réunit tous ces effets. On suspend au dessus d'un poêle une lame spirale de carte ou de papier, de manière que ses plans se présentent obliquement à la vapeur qui monte verticalement du fer ou de la brique, & la spirale, l'hélice, ou le moulinet tourne, & tourne d'autant plus vite, que le poêle est plus échauffé. L'on se sert même de cette espèce de thermomètre pour y entretenir un feu égal. Ainsi, dis-je, les émanations du feu central ou intérieur quelconque de la terre, dont l'existence n'est pas douteuse, auront une impulsion sensible, quoiqu'invisible, sur tous les corps solides ou fluides qui environnent la terre; & si elles l'ont, elle se décélèra, lorsque ces corps, solides ou fluides, & visibles, seront contraints de lui céder en tout ou en partie.

D'où vient la perpendicularité constante de la tige des plantes à l'horizon ? Leurs graines jetées en terre au hasard s'y trouvent tournées de mille façons différentes, par rapport à la partie qui doit germer & d'où sort la *plantule*, obliquement, de haut en bas, plus ou moins ; & entre toutes ces situations dont le nombre est infini, celle qui dirigeroit précisément ce germe en haut ou perpendiculairement à l'horizon, est unique. Cependant toutes sortent perpendiculairement, leur tige naissante se plie, se coude, se redresse dans la terre, & remonte selon cette direction. Prennent-elles sur un mur vertical ou sur des lieux escarpés ; elles se redressent dans l'air, & poussent vers le zénit, comme si leur germe avoit été posé selon cette direction dans un terrain horizontal. Des arbres sont-ils abattus par un torrent, ou renversés par la tempête, & couchés horizontalement sur la terre ; leurs sommités & leurs branches les plus flexibles repoussent, en fléchissant vers le haut, & reprennent bien-tôt la perpendicularité qui leur convient. Les fleurs du maronnier d'Inde, qui par la longueur des fibres de leurs pédicules peuvent ainsi se couder & se relever, tendent de même à se diriger vers le zénit ; & comme ces fibres sont assez fortes pour s'y maintenir, malgré un assez grand poids de la fleur qui les

retire en sens contraire, elles s'y dirigent en effet pour la plupart, sous la forme d'autant de girandoles coniques. Enfin cette affectation des végétaux est si visible & si constante, que je n'y sache point d'exception dont on ne puisse sur le champ trouver la raison particulière, sans préjudice à la cause générale.

Mais cette cause, quelle est-elle? ou que pourroit-on imaginer de plus prochain & de plus vrai-semblable, qu'un fluide qui s'élève continuellement de terre selon cette direction, & qui par ses impulsions redoublées oblige la plante & ses parties les plus flexibles à s'y conformer?

M. Dodart *, qui a parfaitement décrit les singularités de ce phénomène, semble nous inviter lui-même à cette explication par les sages restrictions qu'il ajoute à ce qu'il nous en a donné, & dont il reconnoît l'insuffisance. Je ne voudrois pourtant pas rejeter toutes ses explications. Il y en a quelqu'une sans doute qui pourroit concourir, quoique foiblement, avec celle que je propose : mais l'attraction des rayons solaires, qu'on croiroit peut-être une des plus plausibles, est manifestement détruite par cette objection, que si elle avoit lieu, toutes les tiges des plantes seroient inclinées vers le midi, & d'autant plus, que les pays où

* Mém. de l'Acad. des Sc. 1700, p. 47.

elles croissent seroient plus proches du Pole.

M. de la Hire * pensoit qu'un suc plus grossier & plus pesant destiné à nourrir les racines, par rapport au suc plus subtil & plus léger qui couloit dans la tige & dans les branches, pouvoit déterminer les unes à pousser en en-bas, & les autres à gagner le dessus; après quoi, l'air ne faisant aucun obstacle à leur prolongement, elles sortoient de terre, & continuoient de croître perpendiculairement à l'horizon. Mais outre que cette cause me semble peu proportionnée aux effets qu'il lui attribue, je ne vois pas comment on pourroit l'appliquer au cas des plantes qui croissent sur les murailles ou sur des lieux escarpés, non plus que des arbres couchés horizontalement, dont les sommités se relèvent, & encore moins des fleurs qui, malgré leur poids & la direction de leurs pédicules, se redressent vers le zénit. Au lieu qu'un fluide qui coule sans cesse plus ou moins, de bas en haut, qui s'insinue peut-être dans les vaisseaux organiques des plantes & qui se mêle avec leur sève, satisfait à tout, & se trouve fondé lui-même sur une cause incontestable, la chaleur intérieure de la terre.

Parmi les raisons qu'on a données jusqu'ici des variations du baromètre, & que je ne prétends pas rejeter, je doute qu'il

* Mém. de l'Acad. 1708, p. 231.

y en ait de plus vrai - semblables que ces vapeurs ou ces émanations quelconques qui montent sans cesse du centre vers la circonférence du globe, mais qui montent quelquefois en plus grande abondance & avec plus de force, comme je crois qu'il arrive pendant les tempêtes, les éruptions des volcans, & les tremblemens de terre, où le baromètre baisse presque subitement, & beaucoup plus qu'il n'a coutume de faire dans ses variations ordinaires. Ce qui se voit alors en petit dans les pays sujets à ces sortes d'accidens, a lieu, si je ne me trompe, en grand, quoique d'une façon moins marquée, sur toute la surface de la terre. Car ce fluide dirigé de bas en haut doit soutenir ou diminuer d'autant le poids ou la tendance de l'atmosphère de haut en bas, & obliger le mercure du baromètre, qui lui fait équilibre, à descendre, selon que la tendance contraire est plus grande, ou qu'elle résulte d'un fluide plus dense & plus abondant. Les chaleurs immodérées & passagères que l'on éprouve quelquefois dans tous les climats, & indépendamment des saisons, sont presque toujours accompagnées des mêmes circonstances, & l'effet d'une semblable cause.

Quant à la cause même de ces accès d'une émanation plus ou moins forte des vapeurs centrales, j'avoue que je l'ignore

totale. Savons-nous la loi des expansions & des contractions de l'atmosphère solaire, toute exposée qu'elle est à nos yeux dans la lumière zodiacale que nous voyons quelquefois s'étendre bien au delà de l'orbite terrestre, & quelquefois se renfermer dans l'orbite de Vénus ou de Mercure ! Il est très-possible qu'il y ait dans la structure de la Terre, par rapport à son feu central, un principe intérieur de dilatation & de contraction alternatives, dont nous ne connoîtons jamais le mécanisme, quoique nous en voyions & que nous en ressentions les effets.

CHAPITRE XIV.

Circonstances extérieures & locales qui se compliquent avec l'émanation, & avec la suppression des vapeurs du Feu central.

CES circonstances, comme autant de nouvelles causes du froid & de la gelée, se manifestent principalement sur les hautes montagnes, c'est-à-dire, dans les pays où la surface de la Terre n'est qu'un assemblage & un tissu de rochers élevés. Car on conçoit aisément que cette croûte plus dense, plus épaisse, & plus éloignée du foyer que celle du terrain d'une plaine, doit intercepter en tout ou en partie les vapeurs chaudes qui s'élèvent ou tendent à s'élever du dessous. C'est

pourquoi l'on éprouve toujours sur les hautes montagnes, telles, par exemple, que celles de la Cordelière en Amérique, un froid insupportable, l'eau s'y glace au milieu de la zone torride, & la neige, dont les plus élevées ont retenu le nom de *montagnes neigées*, n'y fond jamais à une certaine hauteur constante & déterminée (a). On fait de même que les Alpes, les Pyrénées, & tous les autres grands pays montagneux ont aussi leurs *montagnes glacées*, où de temps immémorial on n'a point vû fondre la glace (b). Et quoiqu'il ait été allégué bien des raisons de ce phénomène, parmi lesquelles il en est que j'adopterois volontiers (c), je ne trouve pas qu'elles y satisfassent pleinement. Je crois qu'il faut recourir de plus & pour la plus grande partie de l'effet, à la cause locale compliquée avec le principe du feu central, à ces vapeurs & à ce fluide qui s'élèvent de l'intérieur du globe, & qui ne pouvant pénétrer en assez grande abondance la croûte épaisse & compacte qui s'oppose à leur sortie, laissent le dessus exposé à un froid glacial qui régneroit

(a) Savoir, à 2440 toises au dessus du niveau de la Mer. *Relat. de M. Bouguer. Mém. de l'Acad. 1744.*

(b) Scheuchzer, *Iter quartum Alpinum.*

(c) Sur-tout celles que M. Bouguer en a données dans sa dernière *Relation du Voyage fait au Pérou*, à la tête de son livre de la *Figure de la Terre*, imprimé cette année, & depuis que tout ceci étoit écrit.

sur tout le reste de la terre, si ce principe permanent de chaleur ne l'en garantissoit pas.

Il y a encore une chose à remarquer sur plusieurs de ces hautes montagnes toutes composées de rochers, c'est que les variations du baromètre y sont presque nulles ou seulement d'une ou deux lignes, tandis que dans les pays d'alentour, & vers le bord de la mer, elles s'étendent entre les limites d'environ deux pouces. Telles sont les Alpes, comme l'a remarqué M. Scheuchzer dans les différens voyages qu'il y a faits; car quoiqu'il faille retrancher des variations qu'il y devoit avoir, la partie proportionnelle à la descente du mercure dans le tube, en conséquence de la hauteur des lieux, il s'en faut bien que ces variations approchent de ce qu'elles devroient être, puisqu'environ 7 pouces de descente, par exemple, à quoi répond la plus grande hauteur des Alpes, ne devroient donner que 7 à 8 lignes tout au plus de retranchement à l'étendue des limites de variation, & qu'il en resteroit encore 16 à 17. D'où viendrait donc que l'atmosphère ne s'y mettroit pas en équilibre avec celle des plaines des environs pendant ces alternatives de descente & de *montée* du mercure, si l'interception du fluide montant, dont les accès ne s'y font point sentir, n'avoit pas lieu? C'en est pas l'éloignement de l'atmosphère qui est au dessus, d'avec

celle des plaines voisines, qui l'interrompt ou l'empêche ; car nous avons une infinité d'observations correspondantes entre Paris, Uranibourg, Copenhague, & autres lieux fort éloignés, où les mêmes variations du baromètre arrivent le même jour, & presque à la même heure.

J'avoue que la différence n'est pas si marquée entre les montagnes de la zone torride & les lieux circonvoisins situés au bord de la mer ; mais c'est que la surface de la zone torride est beaucoup plus élevée que celle des autres zones, & que par-là, ou par la cause même de cette élévation, la hauteur & les variations du baromètre y sont beaucoup plus limitées, tant sur les montagnes que dans la plaine. Par la même raison le chaud qu'il fait communément dans la zone torride n'est pas plus grand que celui qu'on éprouve à Paris dans les étés ordinaires ; il est seulement plus continu, & c'en est assez pour être plus insupportable*.

* Par les dernières observations de la figure de la Terre, le milieu de la zone torride est plus éloigné du centre que les poles terrestres, de 7 à 8 lieues. Cette élévation, si elle donnoit autant d'éloignement de plus de la sphère centrale de la chaleur, devroit, selon nos principes, causer un froid extrême dans toute cette zone. Mais il faut prendre garde que les forces centrifuges qui ont produit l'élévation de la zone torride, ayant agi d'abord sur toutes les couches du globe terrestre, supposé primitivement fluide, en raison des quarrés de vitesse & des distances, la croûte ou la couche terrestre exté-

La suppression des vapeurs centrales est aisée à démêler, quand, avec la hauteur du sol, elle se trouve jointe à d'autres causes de froid, telles que la saison de l'hiver, la hauteur du pôle, les terres chargées de nître ou d'autres sels; parce qu'il en résulte alors des effets prodigieux, & qui surpassent de beaucoup ce que ces circonstances toutes seules pourroient produire. Les hivers de la Sibérie & de quelques autres régions du continent de l'Asie, entre les 55 & 60 degrés de latitude, sont si terribles, qu'on a de la peine à imaginer que les hommes & les animaux puissent y résister. Un savant Naturaliste qui a passé quelques années dans ces pays-là, rapporte * que le mercure du thermomètre de M. Delisle y descend communément en

rieure de la zone torride n'a pû par cette cause que devenir un peu plus épaisse que celle des autres zones; & c'est de cette petite épaisseur de plus à cet endroit du globe que résulte une chaleur moins grande qu'elle ne devroit l'être à raison de la latitude, & par la cause générale des saisons. En un mot, la sphère ou le sphéroïde du feu central doit s'étendre davantage vers la zone torride que par-tout ailleurs, & y trouver en même temps une croûte plus épaisse de terrain à traverser.

* M. Jean-George Gmelin, Prof. en Chym. & en Hist. Nat. de l'Acad. Imp. de Pétersbourg, dans la grande & belle Préf. de sa *Flora Siberica*. Ces observations se rapportent aux années 1735, 36, 37 & 38, & ont été faites principalement au Fort de Kiren sur la Lena, & à la ville de Jenisea sur la rivière de même nom, vers le 58 & le 58 $\frac{1}{2}$ degrés de lat. selon l'*Atlas Russicus*, publié en 1745.

hiver à 240, & quelquefois jusqu'à 270 & 281 degrés, qui répondent à environ 48, 64 & 70 degrés de celui de M. de Reaumur, au dessous du terme de la congélation : tandis qu'à Torno en Bothnie, à près de 66 degrés de latitude, en Janvier 1737, le même thermomètre garni de mercure ne descendit qu'à 37 degrés, & qu'à Paris en 1709, le plus grand froid n'alla pas à la valeur de 15 de ces degrés. C'est que le terrain de la Sibérie est compacte & fort élevé, qu'il abonde en nitre & autres sels, qu'on y trouve en plusieurs endroits & presque toujours de la glace à quelques pieds sous terre, & que cette glace s'étend vrai-semblablement à une très-grande profondeur ; de manière qu'on n'y sauroit que difficilement creuser des puits, & que si l'on vient à bout d'y en creuser, même plus bas que le lit des rivières voisines, l'eau n'y peut couler, en étant empêchée par les glaces, ou parce qu'elle se glace elle-même : toutes circonstances qui contribuent à la rigueur des hivers qu'on y éprouve, & contraires à l'émanation des vapeurs souterraines ; mais qui, sans l'interception de ces vapeurs, ne sauroient porter le froid à cet excès énorme. Aussi le judicieux Auteur qui nous fournit tous ces faits, ne doute-t-il pas qu'il ne s'y mêle quelque chose de plus*.

* *Subesse aliam quamdam causam in terra fortè latentem*, p. lxxix.

CHAPITRE XV.

Application du principe des vapeurs centrales , à la Congélation & à la Gelée.

POUR résumer enfin tous ces faits & toutes ces inductions , & appliquer le principe à notre sujet, voici , en général , comment je conçois qu'il agit dans les climats tempérés , tels que le nôtre. Les vapeurs qui s'élèvent du sein de la terre , supprimées en tout ou en partie , moins abondantes , ou moins chaudes , diminuent la chaleur qu'il y avoit actuellement à sa surface , ou à la région inférieure de l'atmosphère , & y amènent ce que nous appellons le froid. Le froid survenu à la surface en resserre les pores , & cet effet devenant cause , diminue à son tour l'émanation des vapeurs. Tous les deux , soit comme effets , soit comme causes , se compliquent , se pénètrent , & sont suivis de la gelée , quand toutes les autres circonstances requises de la saison , du climat , des vents , &c. y concourent , & cette gelée dure jusqu'à ce que de nouvelles causes , internes ou externes , rompent l'accord des premières. A l'égard des climats extrêmes , soit pour le chaud , soit pour le froid , les causes de l'un & de l'autre absorbent souvent l'effet ordinaire de celle-ci , ou l'empêchent de paroître ,

quoique toujours existante ; à moins que des circonstances particulières ne la décèlent , ou n'en montrent visiblement la suppression , comme nous venons de le remarquer de la partie élevée & montagneuse du Pérou , au milieu de la zone torridé.

CHAPITRE XVI.

De la différence des congélations, selon la différence des liquides, en général.

LA différence des congélations peut consister ou dans leur promptitude , ou dans leur force , ou dans plusieurs autres circonstances qui varient à l'infini , selon la nature & les propriétés du liquide.

Pour s'en faire une idée générale , qui est tout ce que nous prétendons en tracer ici , il suffit de se rappeler ce qui a été dit ci-dessus , de la différence qu'il y peut avoir entre les liquides , par la grosseur , par les figures , & par les densités différentes des parties qui les composent. Car les mêmes combinaisons d'où résultent leurs différens degrés & leurs différentes espèces de liquidité , doivent produire autant de sortes de glace. Il est évident , par exemple , que , toutes choses d'ailleurs égales , un liquide dont les parties intégrantes sont plus grosses , ou plus rameuses , ou moins polies , ou

plus denses, doit se geler plutôt que celui dont les parties auroient des qualités contraires; puisque ce sont autant de circonstances qui diminuent l'activité de la matière subtile qu'il renferme.

Les liquides qui se gèlent facilement, & dont la glace, du moins celle qui succède immédiatement à leur liquidité, n'est pas dure, comme l'huile d'olive, la graisse fondue, &c. ont apparemment des parties intégrantes plus rameuses, & avec cela plus souples que celles des liquides dont la glace est plus ferme. Les petits filamens & les rameaux de ces parties peuvent leur procurer la promptitude de la congélation, & leur souplesse peut en empêcher la dureté.

Pour les liquides simplement aqueux, j'ai remarqué qu'ils se glacent presque tous dans le même temps, ou dans des temps qui diffèrent peu entr'eux, & qu'il n'y a que certaines circonstances dont on ne s'aperçoit pas quelquefois dans les expériences qu'on en fait, qui sont l'unique cause des différences qu'on y trouve. Car un vase où il y aura eu quelque liqueur spiritueuse ou quelque sel, moins net, plus grand, d'une différente matière, ou d'une différente figure, un plus parfait ou un plus long repos, en un mot, la circonstance la plus légère, est capable de produire des différences considérables dans la congélation de

deux liqueurs homogènes, ou même dans celle de deux portions semblables d'une même liqueur.

On peut voir parmi les expériences de Florence *, celles qui ont été faites dans cet esprit sur les congélations de l'eau de fontaine, de l'eau de neige, de l'eau de myrte, & de plusieurs autres liqueurs.

CHAPITRE XVII.

Des liquides qui ne se gèlent point, ou qui ne se gèlent que difficilement.

COMME il n'y a presque pas de corps, quelque solide qu'il soit, qui ne se fonde & ne se vitrifie par un feu violent, je crois aussi qu'il n'y a point de liquide qui ne puisse, à la rigueur, être fixé ou changé en glace par un froid extrême. Si l'on trouvoit jamais le moyen de ramasser en un point tout le froid d'un grand espace, comme on a déjà eu l'art de rassembler en un foyer les rayons du Soleil; si l'on trouvoit, dis-je, une machine pour augmenter le froid, équivalente aux miroirs dont on se sert pour augmenter la chaleur, je ne doute pas qu'on ne vît en ce genre des phénomènes aussi curieux & aussi surpre-

* *Saggi di naturali esperienze, &c. pag. clvj.*

nans que ceux qu'on a vûs au miroir ardent du Palais royal. Il est rapporté dans les expériences de Florence, qu'un miroir concave de réflexion ayant été ajusté auprès d'un tas de glace de 500 livres pesant, l'esprit de vin d'un thermomètre exposé à son foyer commença à descendre. Mais rien n'est plus incertain que cette expérience, de l'aveu même de ceux qui l'exécutèrent. M. de Reaumur nous a fourni sur ce sujet, & par une voie bien différente ^{de} tout ce que l'industrie & l'art ont donné jusqu'ici de plus curieux & de plus utile, en augmentant par degrés & de plus en plus, par le moyen des sels & des esprits acides tirés de ces sels, la froideur d'une glace qui sert à son tour à rendre la suivante plus froide, & ainsi de suite, sans qu'on sache où s'arrêtera la progression. Il a poussé l'augmentation du froid dans ces expériences, jusqu'à 25 degrés de son thermomètre au delà du terme de la simple congélation*.

Je n'entends donc par des liquides qui ne se gèlent point, que ceux qui ne se gèlent que difficilement, ou qu'on n'a point vû geler chez nous dans les hivers les plus rudes.

Les liquides spiritueux qui ont des parties fort ténues, fort légères, & fort environnées de la matière subtile, sont de ce

* Mém. 1734, p. 183.

nombre. Car l'agitation de cette matière doit être presque aussi grande dans leur intérieur qu'au dehors; & leur légèreté, jointe à la facilité avec laquelle ils s'évaporent, le prouve d'une manière sensible. Par cela même la matière subtile qui circule dans ces liquides, y perd moins de son mouvement que dans les autres, lorsque celle du dehors vient à s'affoiblir. Par exemple, tandis que, selon la théorie & le calcul du Ch. VII, la diminution d'un degré de vitesse de la matière subtile du dehors, aura produit dans l'intervalle d'une minute, une diminution de 6 degrés sur la matière subtile qui est renfermée dans l'eau, elle ne produira peut-être pas une diminution de 2 degrés sur celle de l'esprit de vin; & de plus, au lieu de cette progression, 6, 12, 24, 48, &c. que pourroient suivre les diminutions de la matière subtile intérieure de l'eau à chaque minute, les diminutions de celle de l'esprit de vin ne donneront peut-être que celle-ci, 2, 3, $4\frac{1}{2}$, $6\frac{3}{4}$, &c. C'est pourquoi, lorsque la vitesse de la matière subtile de l'eau aura diminué de 90 degrés, celle de l'esprit de vin n'aura diminué, par exemple, que d'environ 16 degrés: & si l'on faisoit l'agitation de cette dernière, avant l'affoiblissement, de 100 degrés plus grande que l'agitation de celle de l'eau, il lui resteroit encore après cette

diminution près de 84 degrés de vitesse au dessus de la vitesse qu'avoit la matière subtile intérieure de l'eau avant que de s'affoiblir. Ainsi l'on peut juger quelle augmentation de froid exige l'esprit de vin, selon cette hypothèse, pour se geler, après la congélation de l'eau. On dit qu'il gela en partie dans quelques lieux pendant le grand froid de 1709 : mais il falloit que l'esprit de vin auquel cela arriva ne fût pas bien rectifié ; car un de mes thermomètres demeura exposé à l'air pendant les plus grands froids de cette année-là, & je n'y vis jamais la moindre apparence de glace ; quoique dans le pays où j'étois l'esprit de vin de ce thermomètre se renfermât presque entièrement dans la boule *.

Lorsque le vin, l'eau-de-vie, ou telle autre liqueur spiritueuse, vient à se geler, ce n'est guère qu'en partie, & l'on trouve quasi toujours au centre du vaisseau, ou de la pièce de glace, la partie la plus subtile, qui s'y est rassemblée sans perdre sa fluidité. Ainsi l'on peut par cette voie,

* Petit thermomètre de M. Amontons, à Béziers dans le Bas-Languedoc, où j'étois aussi en 1716, lorsque ceci fut écrit, ce qui, toutes réductions faites, par rapport au thermomètre de M. de Reaumur, donne un peu plus de 12 de ses degrés au delà du terme de la simple congélation, tandis que le point correspondant au froid qu'il fit à Paris cette même année 1709, est environ $14\frac{3}{4}$ degrés.

& sans autre opération que d'exposer le vaisseau plein de vin à une forte gelée, faire d'assez bonne eau-de-vie; ce que le hasard a produit plus d'une fois, & que l'expérience confirmera quand on voudra. La raison en est aisée à comprendre. La congélation commençant toujours aux extrémités & à la surface du liquide, & par ses parties les plus aqueuses, & les moins fluides, il s'y doit faire une espèce de contraction, qui chasse continuellement vers le centre les parties les plus fluides, les plus difficiles à se glacer, & par-là les plus propres à s'échapper d'entre les particules de glace qui se joignent les unes aux autres vers la superficie. Aussi la partie glacée de ces liqueurs demeure-t-elle presque toujours après cela insipide & sans force, à peu près comme de l'eau commune. Et quand leur congélation a été si prompte & par un froid si grand, que cette séparation & cette élixation de parties n'a pû avoir le temps de se faire, la glace qui en résulte n'est ni compacte, ni uniforme, & ressemble quelquefois à de la neige à demi fondue.

Je ne crois pas, pour le dire ici en passant, qu'il faille chercher une autre explication au phénomène que Bellini a regardé comme si singulier, & si important pour la connoissance de l'œuf, & qu'il

propose en forme de problème ou de défi à tous les Anatomistes mécaniciens *. Il s'agit de cette partie de l'œuf qu'on voit sur la surface du jaune, qui est appelée l'œil, le germe, ou plus proprement la *cicatricule*. C'est un fait constant que si l'on fait durcir un œuf, & qu'on coupe ensuite le jaune en deux, on y retrouve la cicatricule, non à la superficie, mais au centre, & on l'y retrouve liquide en partie, ou avec une petite concavité sphérique vuide, qui marque que sa partie la plus subtile s'est évaporée pendant que le reste de l'œuf durcissoit. Je ne pense pas, dis-je, qu'il y ait de cause plus prochaine de cet effet, que celle que je viens de dire, qui produit l'amas d'esprit de vin au centre du vaisseau de vin gelé. L'œuf est un tout composé de diverses parties, les unes plus fluides que les autres, ou plus capables de conserver longtemps leur fluidité; & la portion de liqueur contenue dans la cicatricule, est, comme l'on voit par cette même expérience, la plus difficile de toutes à durcir. Il faut donc qu'elle soit chassée, qu'elle fuie, & qu'elle se rassemble vers le centre, vers la partie encore fluide, & de moindre résis-

* *Observatum mille de nominibus singulare, & ad mille pertinet. . . . Oh autem vos, quicumque estis cum re Anatomica & Physico-Mechanica versati, exponite mihi problema hoc: Quâ nempe ratione, &c. Laur. Bellini, Opuscul. Pr. 4. de Motu Cordis.*

tance , à mesure que les parties extérieures se figent , se durcissent & la pressent ; ce qui est encore favorisé par la pellicule ou petite membrane qui la contient , & qui l'empêche de s'échapper ou de se dissiper vers les côtés.

Il y a des huiles qu'on ne voit presque jamais geler , telles que l'huile de térébenthine , & certaines huiles chymiques , qui tombent pour la plûpart dans le cas des liquides spiritueux tout pénétrés de la matière éthérée.

Les huiles grasses se figent non seulement avec beaucoup de facilité , mais ce sont d'ailleurs des liquides si peu homogènes dans le tissu des parties qui les composent , que quelques-unes de ces parties se trouvent figées par un froid beaucoup moindre que les autres , & long - temps avant les autres. De l'huile d'olive qui étoit gelée , que j'avois fait fondre , & qui étoit demeurée par-là jaune & brillante comme une topaze , ayant été exposée à l'air libre en un temps & en un lieu où la liqueur du thermomètre étoit tantôt à la température des caves de l'Observatoire , tantôt à quatre ou cinq degrés plus bas , devint dans quelques heures terne , opaque & blancheâtre , & se maintint pendant quinze jours ou trois semaines en cet état , sans perdre pourtant en général sa liquidité , jusqu'à ce qu'une gelée la fît entièrement figer ; ce que je ne puis attribuer qu'à cette hétérogénéité de parties.

On a observé que la plûpart des huiles, soit grasses, soit essentielles, se figent d'autant plus difficilement par le froid, qu'elles sont plus anciennes *; parce qu'alors, sans doute, toutes ces parties hétérogènes ont eu le temps de se diviser, de *s'atténuer* entr'elles, & de se mêler plus intimement avec les autres

De toutes les huiles grasses que je connois, l'huile d'olive est celle qui se gèle ou se fige le plus aisément & par un moindre froid; celle de pavot, qui lui ressemble, mais qui se gèle difficilement, y étant mêlée, forme un tout avec elle qu'il est presque impossible de distinguer de la première dans sa pureté. Aussi n'arrive-t-il que trop souvent dans les pays où l'huile d'olive est rare, & d'un haut prix, que des marchands trompent le public par ce mélange. La meilleure manière de découvrir la fraude est d'exposer ce tout à la gelée, ou d'y employer la congélation artificielle : l'huile d'olive se gèle, l'autre s'en sépare, & conserve toute sa liquidité.

L'huile d'olive contient cependant, quoiqu'en petite quantité, des parties qui ne se gèlent point, & qui se réunissent au centre du vaisseau lorsqu'il en est plein & un peu grand, comme l'esprit de vin dont nous avons parlé ci-dessus. Il y a des Horlogers qui se servent de cette *huile concentrée* pour

* M. Geoffroy, Mém. de l'Acad. des Sc. 1728, p. 88.

mettre aux pivots de leurs montres & de leurs pendules ; mais je crois l'utilité de cette pratique très-douteuse, si, comme il y a toute apparence, la fluidité de cette huile vient principalement de sa partie aqueuse la plus chargée des sels de la plante, qui s'y sont rassemblés : car, en général, & sans préjudice à ce qui a été dit dans le Chapitre VIII sur les vapeurs salines qui s'élèvent dans l'air, les sels qui se trouvent mêlés avec les liquides en empêchent la congélation, comme il sera expliqué en son lieu ; & ces sels peuvent ronger le métal des pivots des roues, & devenir très-nuisibles à la machine.

L'esprit de nitre & la plupart des eaux fortes ne se glacent point, quoique leurs parties intégrantes ne soient pas, sans doute, ni si ténues que celles de l'esprit de vin, ni si souples que celles des huiles qui ne se figent point ; mais elles sont si incisives, qu'il y a apparence qu'elles ressemblent à des pointes de lancettes lissées & tranchantes, qui se tiennent mutuellement séparées & en mouvement par l'effort continuel qu'elles font, à la manière des coins, contre celles de leurs voisines qui seroient prêtes à se joindre.

Pour le mercure, il est très-constant qu'il ne se gèle jamais ; cependant ses parties doivent être fort pesantes, & peut-être fort dures & fort compactes. Mais cette même dureté doit les rendre d'autant plus propres à rece-

voir un poli plus parfait; & avec cela une extrême rondeur & leur petitesse, qui les fait passer à travers les pores les plus étroits, peuvent compenser leur pesanteur, & procurer à la matière subtile toutes les facilités nécessaires pour les tenir toujours en mouvement.

CHAPITRE XVIII.

De la Coagulation.

ON entend par la coagulation cet épaisfissement qui survient à certains corps, sans qu'ils perdent sensiblement des parties qui faisoient leur liquidité.

Les liquides susceptibles de cette modification méritent ici une attention particulière. Ce sont ceux qui, comme les autres, se glacent par un froid violent, & qui de plus se figent & se coagulent, les uns par une chaleur plus ou moins grande, & les autres par un froid médiocre. Le blanc d'œuf est de la première espèce; le sang est de la seconde; le jaune de l'œuf tient, si je ne me trompe, un peu de l'une & de l'autre. Ces liquides sont très-composés, ou plutôt ce ne sont que des corps extrêmement mous, dont la seule partie aqueuse & lymphatique qui les pénètre, retient la nature de liquide que nous avons décrite au commencement de cette Dissertation.

Leurs

Leurs parties propres ou intégrantes sont fort grosses, & nagent dans un suc glissant qui fait toute leur liquidité, ou dans cette humeur lymphatique beaucoup plus subtile qu'eux. De ce mélange naît un effet semblable à celui de la congélation, & par une cause semblable, quoiqu'en apparence toute contraire; car au lieu que c'est toujours le froid ou la diminution de mouvement de la matière subtile & du feu qui produit la congélation, c'est ici quelquefois le feu même & l'augmentation de mouvement de la matière subtile intérieure qui produisent la coagulation. Mais la liqueur dans laquelle nageoient les parties intégrantes des liquides coagulés par le feu, faisant leur liquidité, comme la matière subtile faisoit la liquidité de l'eau, & de cette liqueur même dont nous venons de parler, il est évident que le feu qui chasse cette liqueur d'entre leurs interstices, ou qui la fait évaporer, de même que le froid chasse une partie de la matière subtile qui est dans l'eau, il est, dis-je, évident que le feu produit la coagulation par la même mécanique que le froid produit la glace. Et à l'égard de ceux de ces liquides, plus ou moins composés, qui se coagulent par un froid médiocre & fort au dessous de celui de la congélation de l'eau, il est évident que ce n'est qu'à la partie gélatineuse ou rameuse qui se trouve mêlée avec leurs parties

les plus grossières, qu'ils doivent cette prompté coagulation. Les gelées, les suc des fruits & des chairs des animaux qui se figent le plus tard, sont ceux où la partie aqueuse qu'ils contiennent, ou qu'on y a mêlée, domine davantage.

La grosseur que j'attribue aux parties intégrantes de quelques-uns des liquides qui se coagulent, non plus que la lymphe dans laquelle j'ai dit qu'elles nagent, n'est pas une simple conjecture. On voit ces parties & cette lymphe avec le microscope : on voit le sang, par exemple, couler dans les artères & dans les veines des nageoires d'un poisson, ou dans les membranes de quelque autre animal, comme de petits grains d'un rouge plus ou moins brun, qui sont emportés dans une liqueur un peu jaunâtre, mais claire & transparente. Leeuwenhoek a discerné la figure de ces grains, en a déterminé la grosseur, & s'est rendu célèbre par son adresse, sa pénétration & sa constance dans ces recherches. La partie rouge du sang humain consiste en une infinité de globules, qui, selon cet Observateur, sont vingt-cinq mille fois plus petits qu'un grain de sable ordinaire, & par-là encore cent fois plus gros que certains animaux qu'on découvre avec le microscope. Chacun d'eux est composé de six autres globules, chacun tourne sur son centre ; ils sont mollets, flexibles &

pesans (a), plus pesans que la sérosité qui les entraîne, quoique cette sérosité soit plus pesante que l'eau de puits, qui l'est plus que toute autre (b). De la flexibilité & de la mollesse des six petits globules composans naît l'assemblage du globule total qui en est composé, non comme une grappe de six grains de groseille qui ne se toucheroient que par un point, mais comme une sphère parfaitement unie dans toute sa surface, à cela près que le contact mutuel des six globules comprimés l'un contre l'autre trace autant de figures curvilignes quadrilatères d'une égalité & d'une régularité admirables (c): & de leur pesanteur commune il résulte, que dès que le sang est hors des veines, & que la sérosité dans laquelle nagent les globules s'est un peu refroidie & a perdu son mouvement, ils tombent au fond du vaisseau, ils s'affaissent, ils s'aplaissent les uns sur les autres par leur poids, & laissent au dessus ce fluide plus subtil qui leur procuroit en partie les divers mouvemens dont ils étoient agités.

(a) *Observations de Leeuwen. (Arcana. nat. det.) sur le sang, le lait, le sel, &c.* traduites & rassemblées par M. Mesmin.

(b) Th. Schwencke, *Hæmatologia, sive sanguinis historia, &c.*

(c) *Essai sur l'Analyse du sang humain*, par M. Ge. Martine, parmi les *Obs. de Méd.* de la *Soc. d'Édimbourg*, t. 2.

Ressouvenons-nous ici de ce monceau de sable ou de poussière, que nous avons imaginé en définissant les fluides & les liquides, dans un vaisseau plein d'eau bouillante. A force de bouillir l'eau se dissipe & s'en va en vapeurs; & c'est-là une manière dont ce tout pouvoit perdre sa liquidité. Mais si l'on ôte seulement le vaisseau de dessus le feu, l'eau qui agitoit les grains de sable se refroidit, se calme, & le sable tombe au fond du vaisseau, ce qui fait une seconde manière dont ce tout pouvoit cesser d'être liquide. Il n'en arrive ni plus ni moins à des composés tels que le sang, lorsqu'ils se coagulent par le froid; sinon que leurs parties intégrantes étant molles, flexibles & imprégnées outre cela de quelque suc glutineux, elles s'aplatissent & s'attachent les une aux autres, & forment un corps mou; au lieu que les grains de sable étant durs & secs, ne feroient plus, étant seuls, qu'un simple fluide. Mais si l'eau avoit dissous quelque suc pareil contenu dans les grains de sable, leur assemblage formeroit une véritable coagulation, ou, comme on dit plus généralement, une *concrétion* tout-à-fait semblable à celle qu'on remarque dans certaines grottes, par l'*insillation* de l'eau qui semble se convertir en pierre.

Le lait, qui n'est qu'une espèce de sang encore imparfait, participe aussi plus ou

moins à tous les accidens du sang , par rapport à la coagulation , & par des raisons toutes semblables.

La chaux vive pénétrée d'eau ou éteinte , se coagule presque de même , mais s'endurcit beaucoup plus vite étant exposée à l'air. Le plâtre en fait à peu près autant , & son *endurcissement* est encore plus prompt. Du reste il est trop aisé d'appliquer notre théorie à tous ces phénomènes , pour nous y arrêter davantage.

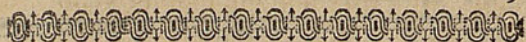
Nous avons aussi fait entendre dès le commencement de ce chapitre , que tous les liquides qui se coagulent , soit au feu , soit à l'air ou au Soleil , soit par un froid médiocre , se gèlent par un grand froid , après s'être coagulés , se durcissent par-là comme la glace , & forment une véritable glace , de même que tous les corps mous qui se trouvent imprégnés d'une suffisante quantité d'humeur aqueuse.

Je ne parlerai point de cette espèce de coagulation ou d'épaississement , qui arrive à certains liquides par leur mélange avec d'autres corps , ou avec d'autres liquides ; car outre que cela nous jeteroit dans un trop long détail , je ne crois pas que ces sortes de coagulations aient beaucoup de rapport à la matière que je traite. Par exemple , lorsqu'après avoir versé quelque acide dans les veines d'un animal , son sang se fige &

se coagule, ce n'est apparemment ni par l'effusion de la matière subtile, ou de la lymphe dans laquelle nagent les globules du sang, ni par aucune sécrétion des parties qui le composent; mais seulement parce que ses globules se trouvant pénétrés & tout hérissés des piquans de l'acide, comme autant de marrons dans leurs enveloppes, ils ne sauroient plus tourner sur leurs centres, ni glisser les uns sur les autres de même qu'auparavant.

Cette idée générale de la différence des congélations, des coagulations, & des concrétions, selon les liquides qui en sont le sujet, suffit, si je ne me trompe, pour montrer que quelque'extraordinaires qu'elles paroissent, elles ne s'écartent point de la théorie que j'établis dans cette première partie de mon ouvrage. J'espère que l'accord de mes principes ne se soutiendra pas moins dans la seconde, par l'application particulière que j'en vais faire aux principaux phénomènes de la glace de l'eau, auxquels seuls je m'arrêterai désormais.





SECONDE PARTIE.

Des principaux phénomènes de la Glace.

POUR garder quelque ordre dans l'exposition de ces phénomènes, je considérerai la Glace proprement dite, la glace de l'eau.

1° Dans ses commencemens, & dans tout le cours de sa formation.

2° Dans sa formation relativement à l'état & aux circonstances où se trouve l'eau qui se gèle.

3° Dans sa perfection ou lorsqu'elle est toute formée.

4° Dans sa fonte, & dans le dégel.

5° Et enfin dans sa formation artificielle, par le moyen des sels.

Et comme chacun de ces points de vue fournit grand nombre de détails, d'observations & d'expériences, je diviserai cette seconde partie en autant de Sections.

SECTION PREMIÈRE.

*Des phénomènes de la Glace dans
ses commencemens, & pendant
tout le cours de sa formation.*

CHAPITRE PREMIER.

Des premiers filets de la Glace.

L'E A U commence à se geler par des filets vers sa superficie ; ces filets touchent d'ordinaire par un de leurs bouts aux parois du vaisseau qui la contient ; ils sont diversement inclinés à ces parois, ou font avec elles divers angles , rarement l'angle droit. A ces filets il s'en joint d'autres qui leur sont de même diversement inclinés , & à ceux-ci d'autres encore , & ainsi de suite , jusqu'à ce qu'ils forment un premier tissu de glace , qui devient toujours plus épais à mesure que le froid continue ou qu'il augmente. Voyons les raisons de ces phénomènes , & premièrement , pourquoi la glace commence par des filets.

Il n'y a pas de corps dans la Nature qui soit si parfaitement uniforme qu'il n'admette quelque interruption , ou quelque inégalité de parties. Quelqu'égal que paroisse une corde

dans toute sa longueur, il y a toujours, physiquement parlant, un endroit plus foible que les autres par où elle rompra si elle est trop tendue. Les liquides ne sont pas exempts de cette loi générale; ils ont, sans doute, quelques-unes de leurs parties intégrantes plus grosses, moins polies que les autres, ou plus serrées entr'elles: or il est évident, par l'explication que j'ai donnée de la formation de la glace, que c'est par-là que doit manquer leur liquidité, ou que doit commencer leur congélation. Un petit amas de ces parties moins mobiles, plus raboteuses, ou plus près les unes des autres, forme le premier glaçon: ce premier glaçon formé, les parties voisines doivent s'y attacher, & se geler plutôt que celles qui en sont éloignées, parce qu'il leur communique une partie de sa froideur; & voici comment je conçois que se fait une pareille communication.

Plus les parties intégrantes d'un liquide sont prêtes à se geler, plus elles sont denses & difficiles à mouvoir, plus la matière subtile trouve de difficulté à les écarter & à passer entre leurs interstices. Mais quand enfin ces parties sont une fois appliquées les unes aux autres, fixes & toujours dans le même arrangement entr'elles, les passages deviennent à la vérité plus étroits, mais ils ne varient plus, il ne s'y fait plus d'inter-

ruption, & la matière subtile qui a commencé de couler par leurs interstices & par leurs pores, peut y continuer son mouvement sans obstacle: car rien ne s'y met plus à la traverse, comme il arrivoit à tout moment, pendant l'agitation en tout sens des parties intégrantes du liquide, & avant la congélation. Donc la matière subtile embarrassée dans les parties d'eau voisines d'un glaçon, & entre lesquelles elle trouve plus de difficulté à se mouvoir, doit passer dans les petits canaux du glaçon, puisqu'elle y rencontre une moindre résistance & plus de facilité à continuer son mouvement: car, comme il a été remarqué, c'est une loi invariable, qu'un corps ou un fluide pressé de tous côtés, s'échappe vers celui où il est le moins pressé. Imaginons donc que ces parties d'eau voisines viennent à former un second glaçon qui s'attache au premier; leur jonction produira une longueur selon laquelle la matière subtile a de plus longs canaux à parcourir, & par conséquent plus de facilité à continuer son mouvement, qu'elle n'en avoit dans un seul: c'est pourquoi il s'y en attachera bien-tôt d'autres en même sens, & à ceux-ci d'autres encore, ce qui formera cette petite chaîne ou ces filets, par où l'on voit toujours commencer la glace lorsqu'on l'observe attentivement.

Les deux premiers glaçons formés, il n'y

a pas de difficulté que les autres ne doivent s'attacher à eux bout-à-bout; mais il semble qu'on pourroit concevoir qu'il s'en devroit former d'abord plusieurs à la fois autour du premier, lesquels feroient autant de rayons dont il seroit le centre ou le noyau. Or de-là naîtreient toujours des pelotons de glace & non des filets; & l'on voit aussi que cela arrive aux liquides dont on a lieu de croire que les parties intégrantes sont rondes ou cubiques, ou même crochues & rameuses. D'où il est naturel de croire que les parties intégrantes de l'eau sont oblongues; de la même manière qu'on conjecture les configurations des parties intégrantes des sels d'après les crySTALLISATIONS salines. Il est clair qu'un paquet d'une vingtaine de bâtons de cire d'Espagne, par exemple, ou de fusaux, laisseroit plus de passage à l'air selon sa longueur que selon sa largeur. De même les premiers glaçons, qui ne sont autre chose que de semblables paquets en petit, laissant beaucoup plus d'ouverture à la matière subtile selon leur longueur que selon leur largeur, doivent se joindre entr'eux bout-à-bout plutôt qu'en aucun autre sens.

Les premiers filets de glace sont couchés horizontalement sur la surface de l'eau, parce que la surface est plus exposée au froid que le dedans, & que, selon l'explication que j'ai donnée de la formation de la glace en

général , c'est par les extrémités du liquide que la congélation doit commencer ; & de plus , parce qu'en quelque endroit que se forment les filets , lorsque la congélation n'est pas extrêmement prompte , ils ont le temps de monter à la surface supérieure , étant plus légers qu'un pareil volume d'eau , comme je le montrerai dans un des chapitres suivans : c'est pour cela que lorsque ces filets se trouvent un peu plus plats & plus tranchans d'un côté que de l'autre , par exemple , comme des lames de canif , le dos de la lame est toujours en haut , & le tranchant en bas ; & ce dos de lame forme une espèce d'arête obtuse un peu élevée sur le niveau de l'eau.

Ces premiers filets tiennent d'ordinaire par un de leurs bouts aux parois du vaisseau , par la raison que j'ai dite ci-dessus , que la congélation doit plutôt commencer par les extrémités , & par conséquent plutôt vers les endroits plus minces , que vers ceux où il y a une grande épaisseur d'eau à traverser. Car comme la surface supérieure est la partie du liquide la plus exposée au froid , les bords de cette surface près des parois du vaisseau , sont ce qu'elle a de plus aisé à pénétrer par le froid : sans compter que l'eau y retient toujours moins de mouvement que par-tout ailleurs , à cause de son adhésion aux parois du vaisseau.

Mais j'y trouve encore une autre raison, & je dis, que quand même les filets se formeroient vers le milieu de la surface, ils iroient bien-tôt d'eux-mêmes s'attacher aux parois de la plupart des vaisseaux où l'on a coûtume de faire ces expériences. Pour le prouver, je suppose qu'on soit instruit d'un phénomène assez curieux, qui se trouve décrit dans quelques Traités de Physique *. C'est que tout corps qui nage sur l'eau, qui se mouille facilement, ou contre lequel l'eau s'applique, va toujours se joindre aux parois du vase qui contient l'eau, en quelqu'endroit de la surface qu'on le mette, lorsque le vase est lui-même mouillé par cette eau, & qu'il n'en est pas tout-à-fait plein. Au contraire, ce corps viendrait toujours des parois vers le centre de la surface, si le vase étoit enduit par dedans d'huile, de suif, ou de telle autre matière qui ne s'unit pas aisément avec l'eau. Donc il est évident qu'en quelqu'endroit de la surface de l'eau que se trouvent les premiers filets de glace, ils doivent s'aller attacher aux parois du vaisseau : & cette seconde raison est si essentielle, que l'effet cesse dès qu'elle n'a plus lieu, quoique la première subsiste : car j'ai vu très-souvent

* Mariotte, *Mouvem. des Eaux*, p. 119. & Fr. Bayle, *Phys. general. part. 1, disp. 7, prop. 21, probl. 8.*

de ces premiers filets de glace flottans au milieu de la superficie de l'eau d'un vase dont les parois intérieures avoient été enduites de quelque graisse, les uns formés vers le milieu & s'y arrêter, quelques autres formés contre les parois & s'en détacher pour aller vers le milieu, si-tôt qu'ils avoient acquis une certaine grandeur. Lorsqu'on remplit le vase jusque par-dessus les bords, en sorte que l'eau monte une ou deux lignes au delà, le corps flottant & mouillé qu'on y fait nager va toujours vers le milieu de la surface, de même que si le vase n'étant pas plein avoit été frotté d'huile ou de suif en dedans; car dans ces deux cas la surface de l'eau est également convexe vers les bords. Mais l'effet n'en est pas toujours le même par rapport aux filets de glace; ceux qui sont formés vers le milieu y demeurent, mais ceux des bords ne s'en détachent pas pour passer vers le milieu, sur-tout lorsque le vase est de verre ou de quelque autre matière dure. C'est que la matière subtile qui passe dans les pores du verre & dans ceux du filet de glace déjà formé contre le verre, s'y meut à peu près de la même manière; au lieu que la graisse ou l'huile étant fort hétérogènes au verre & à la glace par la configuration de leurs pores, la matière subtile ne sauroit passer uniformément des uns dans les autres; & peut-être qu'elle s'y repousse de part &

d'autre d'une manière tout-à-fait semblable à ce qu'on croit qu'il arrive lorsqu'on présente deux pierres d'aimant l'une à l'autre par le même pôle.

Ces mouvemens intérieurs ou extérieurs d'un fluide subtil, par rapport à des corps ou des corpuscules quelconques, & l'espèce d'atmosphère que ce fluide forme autour d'eux, qui repousse les uns & qui s'accroche aux autres, quelque hypothétiques qu'ils paroissent, ne doivent point surprendre, & sont admis par les Physiciens les plus habiles, & sur-tout par ceux que des expériences aussi nombreuses que délicates ont rendu célèbres *. Mille phénomènes en décèlent l'existence, que nous nous contentons d'employer ici par voie de supposition.

* Newton, *Opt. l. 2. part. 3. pr. 8, &c.* Boyle, *De Atmosphæris corporum consistentium, ubi ostenditur corpora etiam dura & solida (& nonnulla talia, quæ quis vix suspicaretur) emittendis effluviis, adeoque habendis atmosphæris, apta esse.* Entre une infinité de phénomènes, ceux de la Réfraction de la Lumière, & sur-tout de sa Diffraction, prouvent sensiblement la réalité de ces atmosphères, sur quoi voy. *Mém. de l'Acad. des Sc.* 1738, p. 53.

CHAPITRE II.

Comment les filets de glace se joignent aux parois du vaisseau & entr'eux, & des figures qui en résultent.

LES premiers filets de glace sont diversement inclinés aux parois du vaisseau, ou font avec elles divers angles, & rarement l'angle droit; de sorte que si le vaisseau est rond, comme un gobelet, par exemple, ils représentent des parties de cordes du cercle, & non des portions de diamètres. La première raison qui s'en offre à l'esprit, c'est que l'angle droit étant unique, & tous les autres, sans cesser d'être obtus ou aigus, pouvant varier à l'infini, de plusieurs aiguilles qui sont jetées au hasard sur un cercle, la plus grande partie doit faire divers angles aigus & obtus avec les tangentes des points de la circonférence où elles ont un de leurs bouts, & très-peu d'entr'elles doivent faire l'angle droit. Mais si cette raison avoit lieu, il y auroit un plus grand nombre d'angles fort aigus & de filets couchés contre les parois, qu'on n'en voit ordinairement: car j'ai remarqué que ces angles ne sont presque jamais au dessous de celui de 30, ou même de 60 degrés qu'ils affectent plus que tout autre; ce qui mérite assurément beaucoup

d'attention *, & dont nous ferons bien-tôt un ou plusieurs articles à part.

A ces premiers filets il s'en joint de seconds qui leur sont diversement inclinés, par les mêmes raisons & de la même manière que les premiers s'étoient joints aux parois du vaisseau. Il faut seulement remarquer que de seconds filets s'étant formés tout auprès d'un des premiers, ils ne s'y attachent, que parce qu'ils le rencontrent plutôt que les bords du vaisseau; & apparemment ils s'y attachent entre les bouts & à la future des petits paquets de parties intégrantes d'eau, qui composent la chaîne ou le filet; car la matière subtile les peut plutôt traverser par ces endroits que par tout autre.

A ces seconds il s'en joint d'autres encore, & ainsi de suite jusqu'à l'entière formation d'une pellicule de glace. Il est rare néanmoins qu'on puisse apercevoir ces filets au delà des troisièmes ou des quatrièmes, parce qu'ils se trouvent si courts, si petits & si près les uns des autres, qu'ils ont achevé un tissu presque uniforme avant que d'avoir acquis la grosseur nécessaire pour produire

* M. Perrault avoit déjà observé que les filets de glace se joignoient aux parois du vaisseau sous un angle oblique, & jamais à angles droits, ni approchant de l'angle droit, du moins à en juger par la figure qu'il en donne dans le 4^{me} de ses *Essais de Physique*, p. 330.

des réfractions différentes de celle de l'eau, ou pour être visibles *.

Pour voir ce premier canevas de la glace, il faut exposer de l'eau à une gelée fort lente, l'observer de temps en temps, & quand la première pellicule aura acquis l'épaisseur d'environ une demi-ligne, la percer vers les bords de la jatte ou du vase, & faire écouler l'eau de dessous par inclination, en sorte que cette petite croûte demeure seule & tendue au dessus, comme une toile d'araignée. Je me suis servi le plus souvent d'un grand vaisseau plat, qui étoit d'une couleur obscure en dedans, & qui avoit un ou deux trous vers le fond. Par ce moyen j'ai mieux distingué les filets de glace, après en avoir vuïdé l'eau de dessous plus commodément, & sans les endommager. Mais je dois avertir qu'il règne une variété prodigieuse dans la grandeur, le nombre, l'assemblage & les figures de ces filets; & que, quelque soin qu'on y apporte, il est bien difficile de rencontrer deux congélations semblables. Souvent ce ne sont que des figures irrégulières, qui ne réveillent l'idée de rien de connu. Quelquefois plusieurs amas de filets parallèles ressemblent aux desseins d'une rase campagne, qui n'est variée que par des champs diversément sillonnés : ici un premier filet fort gros, qui en a à ses côtés

* *V. Planche I à la fin du volume.*

un grand nombre de seconds couchés de part & d'autre uniformément, représente une plume avec ses barbes : là quelques filets qui n'auront pû parvenir aux parois du vaisseau, ni se coucher contre quelque grand filet, se rangeront autour d'un centre en forme d'étoiles, ou décriront une croix de Malte façonnée par les bords, & mille autres figures, selon les circonstances qui les y déterminent *. Mais les figures qui me paroissent les plus fréquentes sont celles de morceaux de feuille, ou quelquefois de feuilles entières. Le premier filet de glace, qui est ordinairement le plus gros, forme la queue ou la côte de la feuille ; les seconds qui s'attachent par un de leurs bouts latéralement au premier, & les troisièmes qui s'attachent de même à ceux-ci, représentent les autres petites côtes, la nervûre, les veines & ce réseau qu'on voit au dos de la plûpart des feuilles. Il n'est pas jusqu'à leurs découpures, qui n'y soient exprimées très-distinctement, mais toujours avec beaucoup de variété ; les unes à anse de panier, les autres en tiers-point & à dent de scie, comme des feuilles d'ortie, ou de rosier.

Ces dentelures sont formées par les extrémités & les pointes des seconds filets

* La figure de la Planche I tient un milieu entre ces congélations les plus façonnées & celles qui le sont le moins. Elle a été dessinée d'après Nature.

attachés à un des premiers ; car les troisièmes & les quatrièmes filets qui remplissent leurs intervalles , & qui achèvent le réseau, commencent toujours près de la côte, où il y a plus de glace , & où les seconds filets sont plus gros & plus serrés ; & si en cet état ces feuilles ainsi formées viennent à s'élever un peu au dessus de la surface de l'eau, parce qu'elles sont plus légères que l'eau, elles demeureront pendant quelque temps distinguées de tout le reste de la pellicule de glace qui se fait aux environs. Car les glaçons voisins ne se mettent guère à un niveau si exact avec elles, qu'ils ne soient un peu plus ou un peu moins élevés selon leur différente grosseur: mais à mesure que la glace se fait plus épaisse, ces inégalités deviennent imperceptibles, parce qu'elles ne sont quasi rien par rapport à une épaisseur considérable, & que les réfractions de la lumière se trouvent par-tout sensiblement uniformes. On verra dans la suite de cette Dissertation, la raison que j'ai eue d'expliquer les figures de feuille qui se voient légèrement tracées sur la glace, plus particulièrement que toutes les autres. Du reste, les découpures des glaçons plats sont si ordinaires, qu'on n'en arrache guère, qu'on ne les trouve tout dentelés au dessous ou à côté, comme de petites scies.

CHAPITRE III.

Des bulles d'air qui se forment dans l'eau quand elle commence à se geler, & des divers effets qu'elles y produisent.

ENTRE les accidens qui arrivent à l'eau avant que de se geler, & pendant qu'elle se gèle, un des plus remarquables & des plus visibles, est qu'il en sort une grande quantité d'air.

L'eau contient beaucoup d'air, cela est constant par mille expériences, mais sur-tout par la formation de la glace. Car à mesure que l'eau approche de la congélation, il s'y fait une espèce de bouillonnement à l'occasion des parties d'air qui en sortent, ou qui se détachent d'entre ses interstices. Cet air divisé auparavant en une infinité de petites parcelles répandues uniformément dans le liquide, venant à se rassembler par leur rencontre, & à se trouver en cet état plus comprimé vers les endroits où la congélation commence, que du côté où elle est plus retardée, s'échappe de ce côté-là, s'y assemble de nouveau, & y forme des bulles si visibles, qu'elles ont quelquefois jusqu'à 2 ou 3 lignes de diamètre : car toute masse sensible d'air enfermée dans l'eau doit y prendre une forme sphérique, par la force

de son ressort qui pousse l'eau également de tous côtés. Les bulles d'air paroissent d'ordinaire plus grosses vers le centre & vers l'axe du vaisseau, que vers les bords & la superficie de la glace; mais elles sont communément en plus grand nombre vers le fond & près des parois intérieures, d'où elles semblent quelquefois partir, & y tenir par une queue, en forme de larmes dont la tête est tournée vers l'axe; parce que c'est par les bords, par la superficie & par les parois minces du vase, que le refroidissement & la congélation du liquide commencent.

J'ai vû quelquefois un grand nombre de bulles d'air engrumelées vers le côté du vaisseau où la congélation a été moins prompte, & y former comme une grappe de raisin, dont les grains seroient fort serrés.

Quand l'eau ne se gèle pas promptement, une partie des bulles d'air, qui sont toujours plus légères que l'eau, ont le temps de monter du fond vers la superficie, & de se dégager de l'eau, pourvû que la pellicule de glace ne soit pas encore formée; mais si la congélation est prompte, la surface & les bords de l'eau se trouvant tout-à-coup extrêmement condensés dans une grande épaisseur, compriment & chassent avec violence vers le fond & vers le centre la plus grande partie de l'air qui étoit em-

barrassé entre leurs interstices: il en sort néanmoins quasi toujours quelque peu, avant que la croûte de glace soit tout-à-fait achevée; & cela est même d'autant plus visible, que la congélation est plus prompte. C'est que cette promptitude contribue à produire de plus grosses bulles d'air, & plus capables par-là de s'élever, & de diviser le liquide malgré sa condensation. Ainsi lorsque la congélation est prompte, il sort très-peu d'air de l'eau, mais les bulles d'air qui en sortent sont plus grosses; & au contraire quand la congélation est lente, il sort un très-grand nombre de bulles d'air, mais fort petites.

Nous ne parlons ici que de ce qui arrive communément & presque toujours, lorsque l'art ne s'en mêle pas: car il y pourroit avoir telle congélation si subite, que les particules d'air engagées dans l'eau n'auroient pas le temps de s'en dégager, & que la glace qui en résulteroit ne nous montreroit d'abord, & de quelques heures, aucunes bulles sensibles. Mais elles y naissent bien-tôt après, & vont même toujours en augmentant de grosseur & de nombre; comme nous le remarquerons plus particulièrement en son lieu.

Il y a aussi d'autres bulles d'air dans la glace, qu'on ne distingue qu'avec une loupe ou avec un microscope, & elles s'y trouvent presque toujours répandues en très-grande quantité;

car l'eau qui approche de la congélation, après avoir poussé vers le côté le moins denté les premières parcelles d'air qui forment les bulles visibles, ne laisse pas d'en retenir encore beaucoup qui ne s'assembleront que lorsque la condensation sera devenue plus grande. Mais comme dans ce dernier période les parties intégrantes du liquide sont beaucoup plus difficiles à mouvoir, & qu'il y en a même plusieurs qui commencent à se fixer, les parcelles d'air ne peuvent plus s'assembler en si grand nombre, parce qu'elles ne sauroient plus aller si loin se grossir de leurs pareilles; ainsi elles ne doivent plus former par-tout que de petits globules imperceptibles.

Lorsqu'on met geler de l'eau dans un vase profond & étroit, tel que seroit un vaisseau cylindrique deux ou trois fois plus haut que sa base, l'air qui s'amasse vers l'axe & vers le fond, s'y trouve d'ordinaire en si grande quantité, qu'il a la force non seulement de remonter, mais encore de rompre le milieu de la première croûte de glace qui s'étoit formée sur l'eau. C'est cet effort de l'air qui rend ordinairement le milieu de la superficie de la glace plus élevé que les bords; & cela arrive sur-tout lorsque les bulles d'air ne commencent à monter que quand la glace est médiocrement épaisse. Si elles montent auparavant, elles rompent le milieu

milieu de la croûte, & l'entretiennent ainsi ouverte presque jusqu'à la congélation de toute l'eau; & comme en sortant elles entraînent toujours un peu d'eau avec elles, il se forme d'ordinaire en cet endroit une bosse ou un monticule plus ou moins haut, selon que l'air est sorti avec plus ou moins de violence.

Lorsque le vent souffle sur le liquide pendant la congélation, il se forme aussi une petite éminence à sa superficie, non au milieu, mais à côté & vers la partie du vaisseau qui regarde le dessous du vent, parce que l'eau y est continuellement poussée.

Enfin on voit arriver rarement ces effets, ou d'une manière moins marquée, lorsque la congélation est très-lente & à l'abri du vent; & aussi lorsqu'on a fait bouillir pendant quelques heures l'eau qu'on veut exposer à la gelée.

Dans le premier cas, c'est qu'une plus grande quantité d'air a eu le temps de sortir peu à peu, & que les bulles n'en sont pas si grosses, le mouvement intérieur du liquide n'ayant été ni si subit, ni si violent.

Dans le second, c'est que le feu a chassé une grande partie de l'air qui étoit contenu dans l'eau, & que cette eau encore chaude ou tiède, & ainsi exposée à la congélation, donne plus de temps à l'air qui y reste pour s'échapper, & retarde ou affoiblit d'autant le trouble intérieur de la congélation.

CHAPITRE IV.

Augmentation du volume de l'eau quand elle approche de sa congélation, & pendant sa congélation.

PAR la théorie générale que nous avons donnée des liquides, & de la formation de la glace, tout liquide doit se resserrer à mesure qu'il se refroidit, & occuper moins d'espace, ou devenir plus pesant par rapport à son volume. Ainsi lorsqu'il est prêt à se geler, & à plus forte raison, lorsqu'il se gèle, ses parties doivent être plus proches les unes des autres que jamais, & former un moindre volume. La cire, les huiles, la graisse, les métaux fondus, à l'exception du fer*, suivent tous cette loi générale, ils occupent moins de volume à mesure qu'ils se refroidissent, & moins encore lorsqu'ils sont figés. L'eau & la plupart des liqueurs aqueuses ne s'en écartent point jusqu'aux momens qui précèdent la congélation, elles perdent de leur volume, & acquièrent, en ce sens, d'autant plus de poids qu'elles se refroidissent davantage. Mais quand cette froideur est enfin parvenue

* Mém. de M. de Reaumur, dans le vol. de l'Acad. 1726, p. 273.

jusqu'au point qui va produire leur congélation, elles sortent totalement de la règle, elles se dilatent, & diminuent de poids par rapport au volume.

Comme c'est-là un des plus importants & des plus curieux phénomènes de la glace, & qui en comprend plusieurs autres, nous allons tâcher de le bien constater, d'en découvrir la cause, & de l'expliquer dans toute l'étendue qu'il mérite.

Pour vous convaincre de sa réalité, prenez une bouteille de verre à long col assez étroit, remplissez-la d'eau médiocrement froide, jusque vers le milieu de ce col, faites-y une marque vis-à-vis la surface de l'eau, & exposez le tout à la gelée. Vous verrez l'eau descendre peu à peu au dessous, jusqu'à trois ou quatre lignes, jusqu'à un pouce ou à plusieurs pouces, selon que la bouteille est plus grande & que son col est plus étroit, & plus ou moins vite, selon que la gelée est plus ou moins forte. Bien-tôt après la surface de l'eau s'y arrêtera & demeurera stationnaire pendant quelques momens; après quoi elle remontera peu à peu, jusqu'à la marque, & passera enfin au delà, plus ou moins par rapport à la descente, selon que le degré de froideur où elle étoit au commencement se trouvoit plus ou moins inférieur à celui de la congélation dont elle approche dans cet instant.

L'eau qui approche de la congélation & celle qui se glace actuellement, occupent donc plus d'espace, & deviennent par-là plus légères qu'un pareil volume d'eau médiocrement froide. Et à l'égard de l'eau actuellement glacée, & qui représente l'état où elle étoit l'instant d'auparavant par rapport au volume, on en a une preuve sans réplique, puisqu'elle y nage toujours dessus, & que les glaçons qu'on met au fond d'un vaisseau plein d'eau, ou au fond d'une rivière, montent toujours vers la superficie.

Une suite de cet effet, ou une seconde preuve de l'augmentation de volume, aussi incontestable que la précédente, & qui montre en même temps l'effort de l'eau ou de la glace pour se dilater, est la rupture ordinaire des vaisseaux où elle est contenue, lorsqu'ils sont étroits par le haut, & que la congélation est assez prompte pour ne pas donner le temps à l'air de sortir, & aux parties de l'eau de s'ajuster les unes sur les autres, de soulever peu à peu la croûte supérieure de la glace, ou de la *voiler* & la rendre convexe par son milieu. Car si, par exemple, le vaisseau où se fait la congélation étoit fort grand, & plat comme un bassin, on voit bien que quelque forte que fût la glace, & quelque adhérente qu'elle fût aux bords du bassin, elle devroit plier aisément par le milieu de la croûte supérieure,

& faire place d'autant au gonflement intérieur ; de même qu'une barre de fer, quelque grosse qu'elle puisse être, ne laisse pas de céder par son milieu, lorsqu'elle est fort longue, & qu'elle n'est soutenue que par ses deux bouts. Et si le vaisseau, quoique petit & profond, se trouvoit beaucoup plus large par l'ouverture que par le fond, s'il étoit évasé ou conique, & tel que la plupart de nos verres à boire, tout l'effort de la congélation ne tendroit qu'à pousser la glace vers le haut du vaisseau, en la détachant de ses parois, & la faisant glisser vers la partie évasée. Aussi lorsqu'on fait geler un verre d'eau tout plein, la glace remonte si fort, qu'elle passe quelquefois les bords du verre de 2 ou 3 lignes. Il n'y a guère que ces circonstances, ou une épaisseur extraordinaire, par rapport à la petite quantité d'eau, qui empêchent le vaisseau de crever.

Quant à la mesure de cette dilatation, & de sa force pour surmonter les obstacles qui s'y opposent, nous en parlerons plus particulièrement dans un des chapitres suivans.

Voilà donc un effet bien constant que celui de l'augmentation de volume de l'eau qui se glace : cependant bien loin qu'il y ait aucune nouvelle introduction de matière, il en sort beaucoup d'air en bulles très-vissibles, comme il a été remarqué ci-dessus. Et

à l'égard de la matière éthérée contenue dans le liquide, & qui environne les parties intégrantes de l'eau, ou remplit leurs interstices, nous avons vû par la théorie générale de la formation de la glace, qu'au lieu d'augmenter à mesure qu'il se refroidit, elle doit diminuer de quantité, de volume & de ressort. Il faut donc que le changement qui arrive au liquide à cet égard, pendant la congélation, consiste en quelque disposition de parties, soit de l'eau, soit de l'air qui y est contenu, différente de ce qu'elle étoit auparavant.

CHAPITRE V.

Trois causes de l'augmentation de volume de l'eau pendant la congélation. Première cause, les bulles sensibles d'air qui s'y forment.

PLUSIEURS causes peuvent concourir à l'augmentation de volume dans l'eau qui se glace.

1° Les bulles d'air qui s'assemblent dans l'eau pendant la congélation.

2° Le dérangement qui survient aux parties intégrantes de l'eau, par la sortie ou par le dégagement de l'air d'entre ses interstices.

3° Le dérangement des parties intégrantes

de l'eau par la manière différente dont elles se groupent entr'elles, en vertu d'une tendance qu'elles ont, ou qui leur est imprimée en ce moment, à s'incliner les unes vers les autres sous un angle sensible.

L'explication de la première de ces causes va faire le sujet de ce Chapitre : elle mérite d'autant plus d'attention, que bien qu'elle ait été depuis long temps & plusieurs fois employée, personne, que je sache, ne l'avoit encore ramenée à ses vrais principes.

Si l'air contenu dans l'eau y étoit divisé en si petites parcelles qu'elles pussent se loger dans les interstices des parties de ce liquide, si ces molécules d'air y prenoient la figure de ces interstices, ou enfin si en cet état elles y étoient sans ressort, il seroit aisé de concevoir comment assemblées ensuite en grosses bulles sensibles, par l'ébullition ou par la congélation, elles y occupent plus d'espace & en dilatent la totalité. Plusieurs brins de laine séparés, ou entortillés & exactement couchés sur des fuseaux, n'y feront pas la centième partie du volume qu'ils peuvent faire dans un amas fortuit & tel que celui de la laine cardée. Dans le premier cas on n'a quasi d'autre volume que celui de la matière propre de la laine ; dans le second il y faut ajouter les vuides & les intervalles que les brins de laine irrégulièrement assemblés & tortillés laissent entr'eux. Mais outre que je

n'oserois assurer que l'air contenu dans les liquides y soit totalement destitué de ressort, l'induction que je prétends tirer de la grosseur des bulles d'air qui se forment dans l'eau pendant sa congélation, n'en sera que plus forte, si je fais voir que, supposé même que cet air y fût auparavant sous la forme sphérique, & avec tout son ressort, son énergie pour en augmenter le volume doit être d'autant plus grande, qu'il s'y trouve assemblé en plus grosses bulles.

Il ne s'agit donc que de savoir comment la grosseur des bulles peut opérer cet effet. Comment une bulle d'air, par exemple, qui s'est formée de 100 petites bulles, auparavant dispersées dans l'eau, a plus de force & d'intensité pour se dilater & pour écarter les parties de l'eau, que les 100 petites bulles n'en avoient étant dispersées çà & là. La force de la grosse bulle ou goutte d'air est-elle autre chose que la somme des forces des 100 petites gouttes? Quelle addition de force leur réunion a-t-elle pû y apporter!

Remarquons, 1^o Que, toutes choses d'ailleurs égales, la force des bulles d'air en général, pour résister à la pression de l'eau, est fondée sur leur courbure uniforme ou sur leur sphéricité qui leur fait soutenir également cette pression par tous les points de leur surface, & par le moyen de laquelle toutes les parties élastiques qui les composent

s'arcboutent mutuellement vers le centre.

2° Que l'avantage de la grosse bulle sur la petite consiste, & dans sa moindre surface à raison de sa solidité, étant, par exemple, huit fois aussi grosse, si elle a un diamètre double de celui de la petite, n'ayant que quatre fois autant de surface; & dans sa moindre courbure, à raison de son plus grand diamètre, les courbures des cercles ou des sphères étant entr'elles en raison inverse de leurs diamètres.

3° Que sans ces circonstances les forces de leurs expansions seroient égales, par ce principe, que plusieurs ressorts égaux appuyés les uns sur les autres ne soutiennent pas un plus grand poids qu'un seul, & qu'ainsi les deux surfaces planes & parallèles d'un grand & d'un petit cube, par exemple, qui seroient remplis d'air, résisteroient ou céderoient également à la pression du liquide qui agiroit contre elles, ou, ce qui revient au même, que cette pression feroit bien-tôt prendre à l'une & à l'autre de ces deux masses d'air cubiques & anguleuses la figure sphérique, la seule qui puisse établir l'équilibre de toutes parts entre le liquide environnant & le fluide environné. Et c'est la raison pourquoi tout fluide ou tout liquide suspendu dans un autre qui ne le dissout point, y prend toujours, ou tend toujours à y prendre la figure sphérique.

4° Qu'il s'agit ici de l'intensité d'une force contre un point pour y soulever un poids donné, ou vaincre une force contraire, & non de son extensité, ou de la somme égale de plusieurs forces dispersées : car 100 ressorts, par exemple, rangés à côté les uns des autres sur un plan, & capables d'y soutenir un autre plan chargé d'un poids de 100 livres, à raison d'une livre par ressort, ne repousseront jamais aucun des points du plan supérieur avec une force de 2 livres, & encore moins de 100 livres; ce que fera un seul ressort qui a le centuple de force. Or ce plan supérieur devenu flexible en tous ses points, & cédant à l'impulsion de chaque ressort, représentera le cas du liquide comprimant qui environne les bulles d'air.

5° Enfin, que le principe des forces centrifuges, toujours plus grandes en raison inverse des diamètres des cercles ou des sphères, n'a pas lieu ici, n'étant point question d'un mouvement circulaire ou *vortical* autour d'un centre ou d'un axe, mais seulement d'une tendance de parties du centre vers la circonférence ou vers la surface sphérique, & qui s'exerce dans le repos de ces parties indépendamment de tout mouvement circulaire : car dans le cas de ce mouvement, & abstraction faite du ressort, la petite bulle auroit plus de force pour se dilater que la grande.

Mais enfin, & tout cela posé, par quel principe la grande bulle d'air a-t-elle plus de force pour se dilater que la petite, de cela seul que sa surface est moins courbe ou moins convexe?

On fait que de deux cordes d'égale longueur, mais inégalement tendues, & sur chacune desquelles on auroit appliqué un poids égal, ou une infinité de poids égaux & dont les sommes seroient égales, celle des deux cordes qui fléchiroit le moins, qui se courberoit le moins, ou qui feroit les angles les plus obtus à chaque point de la suspension d'un poids, seroit la plus tendue; ou, réciproquement, que toute corde plus tendue qu'une autre qui lui est égale, sera moins courbée par les poids qu'on y appliquera, pourra soutenir de plus grands poids, sans se courber davantage, ou aura plus de force pour repousser des poids égaux, & résister à des impulsions égales.

Appliquons ce principe à deux surfaces, qu'on peut concevoir comme composées d'une infinité de lignes, ou de filets, si on les suppose de quelque épaisseur, comme des toiles. Nous dirons de chacun de leurs points physiques ou des filets indéfiniment petits qui les composent, ce que nous venons de dire des deux cordes, cette surface sera d'autant moins courbée par des impulsions égales, qu'elle sera plus tendue. Et comme

la surface entière de chacune des deux bulles n'est que la somme de tous ses points physiques, on en conclura de même, que la bulle dont la surface est moins courbe ou moins convexe, c'est-à-dire, la plus grosse bulle, doit avoir plus de force que la petite, pour se dilater, ou pour crever par sa surface, ou, ce qui revient au même, pour écarter les parties du liquide ambiant, & en augmenter le volume; quoique l'air qui la gonfle & qui en distend la superficie n'ait pas plus d'élasticité que celui qui gonfle & qui distend la superficie de la petite.

Les grandes bulles d'air qui se forment dans l'eau pendant sa congélation ont donc plus de force pour se dilater, & pour en augmenter le volume, que les petites, ou que n'en avoit le même air subdivisé en une infinité de petites bulles dispersées dans toute la masse du liquide; & ceci doit s'entendre également des bulles imperceptibles comparées les unes aux autres, & entre lesquelles il peut y avoir de très-grandes différences de petitesse. Donc, &c.

Cette explication, ou plutôt cette démonstration suffit pour ceux qui ne voudront pas entrer dans le détail géométrique, & la note * qu'on trouvera ci-dessous y suppléera pour les autres.

* Toute cette théorie étant, comme on voit, réduite à celle de deux cordes égales, *ABC, DEF*;

Revenons présentement à la manière dont l'air est contenu dans l'eau & invisiblement mêlé avec elle pendant son état de liquidité. Car s'il y est logé dans les interstices des parties intégrantes du liquide, & sous une forme moins favorable à l'action de son ressort, que la forme globuleuse ou sphérique, comme nous l'avons déjà insinué, tout ce que nous venons de dire des bulles d'air, par rapport à l'augmentation de volume de l'eau qui se glace, acquiert une nouvelle force.

(*Planche II, numéro 1, à la fin du volume*) arrêtées par leurs bouts, différemment tendues, & au milieu de chacune desquelles on auroit suspendu un poids égal, P, Q ; soient les deux cordes imaginées comme deux arcs infiniment petits d'un grand cercle de chacune des sphères ou bulles dont on veut comparer les forces, savoir, ABC de la grande, & DEF de la petite: ou, ce qui revient au même, soit imaginée chacune de ces cordes ainsi chargée d'un poids, comme deux côtés infiniment petits, AB, BC , & DE, EF , du cercle correspondant, & soit AB prolongé en T , & DE en X . On fait par les principes de Statique, que le poids P est à la force avec laquelle la corde ABC , ou la moitié AB ou CB , est tendue, comme le sinus de l'angle TBC est au sinus de l'angle CBH ; & que le poids Q est à la tension de la corde DEF , ou de chacune de ses moitiés, comme le sinus de l'angle XEF est au sinus de l'angle FEL . Supposé maintenant, comme il suit de l'hypothèse, que les angles TBC, XEF , soient infiniment petits, les angles HBC, IEF , pourront être pris pour des angles droits, & les petits angles TBC, XEF eux-mêmes, pour leurs sinus. Ainsi le poids P sera à la tension de la corde ABC , comme TBC , ou son sinus, est au sinus

Nous n'avons à consulter là-dessus que l'expérience.

Le volume de deux liqueurs mêlées ensemble n'est pas toujours égal à la somme des volumes des deux liqueurs séparément, & il est souvent plus petit. Par exemple, deux parties d'eau, & une d'esprit de vin, faisant en tout & séparément 3 de volume, ne feront, étant mêlées ensemble, que 3 moins la 20^{me} partie du volume de l'esprit de

total; & le poids Q à la tension de la corde DEF , comme l'angle $XE F$, ou son sinus, au sinus total. Mais les poids P, Q , sont égaux; donc réciproquement la tension de la corde ABC sera à la tension de la corde DEF , comme l'angle $XE F$, ou son sinus, est à l'angle TBC ou à son sinus: d'où il suit que quoique les poids P & Q soient égaux, ils ne laissent pas de produire ou de nous indiquer différentes tensions dans le cas où les deux parties des cordes ABC, DEF font des angles différens. Mais, *par hyp.* les parties $AB, BC, \& DE, EF$, ne sont ici que des côtés infiniment petits de deux polygones infinitésimaux ou de deux cercles dont les courbures sont exprimées réciproquement par les angles ABC, DEF , ou directement par les externes $TBC, XE F$, & ces courbures sont réciproquement entr'elles comme les rayons de ces cercles; donc les tensions produites ou indiquées par les poids P & Q , sur deux cordes, ou, comme on l'a vû, sur deux surfaces ou deux enveloppes sphériques, ou enfin les forces expansives de deux bulles d'air de différente grosseur, sont entr'elles comme leurs rayons; C, Q, F, D . Cette théorie est la même que celle de feu M. Jean Bernoulli, sur le gonflement ou la force des muscles, par l'introduction d'un fluide quelconque, & sur la courbure des voiles, par l'impulsion du vent.

vin, ou d'un 60^{me} du total *. Quelques parties de l'une des deux liqueurs se logent donc dans les vuides ou les interstices de l'autre, ou quelques parties des deux à la fois se mêlent ainsi réciproquement les unes avec les autres; & il y a grande apparence que quelque chose de tout pareil arrive à l'air qui est contenu dans l'eau. Lorsqu'on remplit d'eau ou de quelqu'autre liqueur un vaisseau déjà plein de cendres bien tamisées & bien tassées, il n'en contient guère moins en cet état, que s'il avoit été vuide de toute autre matière.

Nous dirons de l'air qui est ainsi contenu dans un liquide, ou de quelqu'autre manière que ce soit, différente de la forme sous laquelle nous le respirons, & comme délayé dans ce liquide, qu'il y est *intimement* mêlé, & de l'autre, de l'air ordinaire, que c'est de l'air *en masse*.

Tous les corps, tant solides que liquides, contenant une très-grande quantité d'air, comme on en peut juger par celui qui en sort, on ne peut douter que la plus grande partie de cet air qui vient d'en sortir, n'y fût intimement mêlé, soit par le volume qu'il occupe, soit par la difficulté qu'il y auroit à le réduire en aussi petit volume qu'auparavant,

* Voyez les exp. de M. de Reaumur sur ce sujet, *Mém. de l'Acad.* 1733, p. 165.

& par la force qu'il y faudroit employer.

Une expérience assez connue, & que nous devons au célèbre Géomètre que je viens de citer dans la note précédente, nous en fournit un exemple remarquable (a). Il en a conclu, que l'air contenu dans un grain de poudre à canon avant l'inflammation, n'y tient pas la centième partie de la place qu'il occupe après l'inflammation, & lorsqu'il a été refroidi au même degré que l'air d'alentour. On ne sauroit dire cependant que l'état de cet air dans le grain de poudre, avant l'inflammation, consiste en quelque chose de pareil aux condensations ordinaires de l'air en masse; car il est clair par mille autres expériences, qu'il auroit alors beaucoup plus de force qu'il n'en faut pour écarter les parois qui le contiennent, briser & dissiper les parties friables & peu liées du grain de poudre, & s'échapper d'entre leurs interstices. Il faut donc qu'il y soit sous une forme toute différente.

Je fais que deux habiles Observateurs (b)

(a) Jean Bernoulli, *Diff. de Efferv. & Ferment.* n^o 22. La même expérience est encore plus circonstanciée parmi celles de Hauksbée, imprimées & traduites en italien à Florence, p. 60. Et il résulte enfin de plusieurs autres expériences, que le volume d'air qu'on tire d'une matière égale souvent 200 ou 300 fois celui de la matière d'où il est sorti. *Leç. de Phys.* de M. l'Abbé Nollet, t. 3, l. 10, exp. XIX.

(b) M^{rs} 'sGravesande & Desaguliers.

qui ont répété la même expérience avec beaucoup d'art, ont attribué cet effet à une véritable production de nouvel air, causée par l'inflammation de la poudre. Cette différente explication du fait ne changeroit rien à l'usage que j'en prétends faire, puisque j'en pourrois dire autant de l'air qui se répand dans l'eau pendant la congélation, & en déduire de même l'expansion ou la légèreté de la glace. Mais j'avoue que je ne saurois recourir à une nouvelle production, tandis que je puis concevoir les mêmes effets par le seul changement d'état & de situation des parties. Sans compter qu'il se mêle ici, selon moi, une autre cause dont il n'est pas temps de parler, n'en ayant pas établi le principe, & qui suffira pour ramener la conclusion de M. Bernoulli à ses justes limites.

Il résulte d'une expérience de M. Mariotte, rapportée dans son *Essai de la nature de l'air*, qu'on peut faire sortir d'une goutte d'eau par la chaleur, une quantité d'air égale à 8 ou 10 fois le volume de la goutte. Que seroit-ce si cet air y avoit été sous sa forme ordinaire & élastique, comme il est dans un ballon? Le liquide auroit-il résisté à son effort? Il y a donc infiniment plus d'apparence qu'il y étoit intimement mêlé, & de la même manière qu'il s'y insinue de nouveau, & qu'il s'y dissout, après qu'on l'en a purgée.

Mais voici encore quelque chose de plus positif pour notre sujet. J'ai mis dans la machine pneumatique un vaisseau plein d'eau de trois ou quatre pouces de diamètre, & d'autant de hauteur, &, après m'être assuré de sa pesanteur spécifique actuelle ou de sa densité, par le pèse-liqueur, j'en ai pompé l'air à différentes reprises, & dans l'intervalle d'un ou deux jours, observant que la température de l'air extérieur fût à peu près la même pendant toute la durée de l'expérience. J'y ai replongé ensuite le pèse-liqueur, & il s'y est toujours enfoncé comme auparavant, ni plus ni moins. L'air qui en étoit sorti, & en très-grande quantité, n'y occupoit donc pas un espace sensible. Car on sait que la pesanteur spécifique des matières, & leur volume, sont des grandeurs relatives; l'une ne peut diminuer sans que l'autre n'augmente, & au contraire; & si l'une demeure la même, l'autre ne change pas. La même expérience avoit été faite par M. Huguens, quoiqu'à toute autre intention, & d'une manière très-différente (a), comme aussi par M. Boyle (b).

Il est donc certain que l'air n'est pas dans l'eau pendant qu'elle est liquide & avant qu'elle approche de la congélation, de la même manière que pendant la congélation,

(a) Journ. des Sav. 25 Juillet 1672.

(b) Phil. Transf. n° 62.

lorsqu'il s'y rassemble en masse, ou en bulles plus ou moins grosses ; & nous en avons suffisamment indiqué les conséquences , par rapport au plus grand volume qu'il y doit produire pendant qu'elle se glace.

CHAPITRE VI.

Seconde cause de l'augmentation de volume pendant la congélation, le dérangement qui survient aux parties intégrantes de l'eau, par la sortie ou le dégagement de l'air d'entre leurs interstices.

EN parlant de l'air qui se dégage des interstices de l'eau, soit par le ressort qui lui reste, soit par sa légèreté, ou par les nouveaux mouvemens de la matière subtile aux approches de la congélation, nous avons presque toujours considéré le liquide comme immobile relativement à cet air qui s'y insinue, ou qui s'en dégage ; & nous avons été conduits à l'imaginer ainsi, parce qu'à volume égal, l'eau contient environ huit à neuf cens fois plus de matière propre que l'air, & que de deux corps qui par une force quelconque tendroient l'un vers l'autre, celui dont la masse surpasseroit comme infiniment celle de l'autre, pourroit être censé en repos, tandis que cet autre iroit

vers lui. Mais le mélange de deux substances étant un effet purement réciproque, rien n'empêche que nous n'imaginions également, que c'est l'eau qui s'insinue dans l'air, comme nous avons imaginé ci-dessus qu'elle s'imbiboit dans la cendre, & que c'est l'eau qui se dégage de l'air, selon que l'une ou l'autre idée conviendra davantage à nos explications, & en pourra faciliter l'intelligence.

Cela posé, & que les parties intégrantes de l'air soient rameuses ou spirales (a), & celles de l'eau un peu oblongues, comme des cylindres arrondis par leurs bouts, ou comme des sphéroïdes oblongs (b), nous pouvons indifféremment supposer, que dans leur mélange intime les particules de l'air se sont roulées sur ces cylindres, ou que les particules de l'eau se sont logées dans les spires de l'air, ou l'un & l'autre à la fois.

Après quoi il est aisé de concevoir que le mouvement intérieur ou l'ébullition qui survient à l'eau qui se glace, toujours d'autant plus sensible que le froid est plus grand, & que la congélation est plus prompte, ce trouble intestin que nous avons décrit dans le Chapitre III de cette Section, est une cause suffisante du dérangement & de la transpo-

(a) *Suprà*, p. 47 & 48.

(b) *Suprà*, p. 107.

situation des parties du liquide, par rapport à la situation qu'elles avoient entr'elles dans son état parfait de liquidité. Or la matière subtile & les molécules de l'air, qui se dégagent alors d'entre les interstices de l'eau, heurtent violemment ses parties, en détournent plusieurs de leur direction commune qui tendoit vrai-semblablement au parallélisme, & les fait porter transversalement & irrégulièrement les unes sur les autres. La figure oblongue que nous leur avons attribuée, soit à chacune en particulier, soit aux petits paquets qui s'en assemblent, & qui se manifestent dans les filets de glace, favorise la possibilité de cette position différente, & de ce changement de direction. Imaginez un grand amas de pièces de bois cylindriques exactement empilées selon leur longueur, & de façon que chaque pièce porte également sur les deux inférieures qui la soutiennent, & remplisse autant qu'il est possible la gouttière qu'elles forment. Jetez çà & là dans l'intérieur de cet assemblage, de petites cordes qui s'ajustent entre ses intervalles, ou qui s'entortillent autour de quelques-unes des pièces qui le composent : telle nous imaginerons à peu près la disposition des parties de l'eau avec l'air qu'elle contient, ou du moins la disposition où ces parties tendent le plus constamment, & où elles paroissent se maintenir le plus qu'il est pos-



fible pendant sa liquidité. Introduisez présentement quelque fluide agité, un torrent, dans cette pile de bois; arrachez soudainement les cordages qui s'y trouvent mêlés ou entortillés, il est évident qu'il s'en ensuivra un dérangement universel, que telle pièce de bois, par exemple, dont la position étoit parallèle par rapport à ses voisines, les croîsera, que telle autre formera le chevron avec elles, & enfin que toutes ou presque toutes sortiront de la direction où elles étoient les unes à l'égard des autres. Il n'est pas moins évident que ce nouvel amas doit occuper plus de place, par ce seul dérangement de parties, qu'il ne faisoit auparavant. Or c'est-là ce que je crois qui arrive à l'eau prête à se geler. La matière subtile intérieure qui se dégage & qui se meut alors plus irrégulièrement dans ses interstices, par l'interruption de son équilibre avec l'extérieure, y produit le même trouble & le même dérangement que le torrent que nous avons introduit dans la pile de bois; & l'air mêlé avec l'eau ou entortillé avec ses parties venant à s'en détacher par la même cause, & par la collision mutuelle de plusieurs d'entr'elles, y tient lieu des cordages que nous y avons supposés; avec cette différence que les particules d'air ont du ressort, que leur ressort s'exerce désormais avec plus de liberté, & qu'elles augmentent par-là le

gonflement général de la masse, comme nous l'avons expliqué.

L'augmentation de volume en conséquence du seul dérangement des parties, pourroit aller beaucoup plus loin que celle dont nous avons besoin pour expliquer ce qui arrive à l'eau glacée; le plus petit changement suffit pour cela. Car, par exemple, si au lieu d'imaginer la pile de bois entassée comme ci-dessus, on suppose seulement que chaque pièce de bois y porte à angles droits sur son inférieure, que toute la pile soit formée de plusieurs couches horizontales, où les pièces cylindriques, sans cesser de se toucher, portent transversalement les unes sur les autres, c'est-à-dire, que toutes celles de la première couche étant dirigées du midi au septentrion, toutes celles de la seconde le soient de l'orient vers l'occident, & ainsi de suite; il est aisé de démontrer qu'il en naîtra un volume, qui est au précédent comme 2 à la racine de 3, ou environ comme 7 à 6. Ce qui suffiroit pour expliquer le gonflement ordinaire de l'eau qui se glace; & à plus forte raison des arrangemens ou des dérangemens qui laisseroient de plus grands vuides, seroient-ils suffisans.

CHAPITRE VII.

De l'angle sous lequel les particules de glace & les parties intégrantes de l'eau affectent de s'unir & de s'assembler entr'elles pendant la congélation.

A VANT que de passer à la troisième cause de l'augmentation de volume dans l'eau qui se glace, il convient d'en préparer l'intelligence par l'établissement d'un fait, qui est lui-même très-curieux & très-important. C'est du moins un nouveau point de vûe sur ce sujet, une conjecture que je ne dois pas négliger de proposer.

Une infinité d'observations & d'expériences m'ont persuadé que les particules de l'eau qui se glace, tendent à s'assembler entr'elles, & par leurs filets sensibles, sous un angle de 60 degrés, ou de 120 qui en est le complément à deux droits, & cela quelquefois avec une justesse que la plus exacte pratique en Géométrie ne peut qu'imiter, & ne sauroit surpasser.

On a vû ci-dessus que la congélation de l'eau commence par des filets, de petites aiguilles droites, ou de petites lames, comme des canifs dont le tranchant seroit tourné en en-bas; que ces filets venant à
se

se multiplier les uns près des autres, & à former des paquets de fibres, des plans ou des réseaux quelconques, vont souvent se joindre à d'autres paquets sous divers angles, par rapport à la direction des fibres ou des aiguilles de l'un, & à la direction des fibres ou des aiguilles de l'autre, qu'il en résulte quelquefois des compartimens à la superficie de la glace, & comme un assemblage de champs diversément sillonnés, tels qu'on les représenteroit sur une carte topographique ou sur le plan d'une campagne; des feuilles avec leur nervure, des plumes avec leurs barbes, & cent autres figures plus ou moins régulières que nous avons insinué n'être pas aussi indéterminées ou aussi fortuites qu'on pourroit se l'imaginer. Et nous avons donné en même temps un moyen facile de vérifier, de répéter souvent l'expérience, & de rendre ces figures très-visibles sur une lame ou pellicule de glace *; car ce n'est qu'à force de voir & de revoir ce phénomène, qu'on y démêlera cette affectation des filets de glace à se joindre sous un certain angle déterminé, que je dis être de 60 degrés.

J'avoue que la variété qui règne dans ces figures de la superficie de la glace, & même quelquefois dans les angles sous lesquels les filets rencontrent latéralement leurs voisins,

* Page 83. Voy. *Planche I.*

y couvre, pour ainsi dire, la loi ou la tendance générale que j'ai cru y apercevoir: car, dira-t-on, parmi tant de hasards, il doit assurément y en avoir quelqu'un qui nous donnera l'angle de 60 degrés, ou de 120 qui en est le complément. Mais j'en fais juge quiconque voudra se donner la peine de le vérifier; ce prétendu hasard arrive trop souvent, & d'une manière trop marquée pour n'avoir pas une cause déterminante.

Il faut d'abord se munir d'un étalon de cet angle, d'une lame de métal ou de carte, qui en soit l'exakte mesure. Trois arcs de cercle qui se coupent réciproquement, & sous une même ouverture de compas, donneront de quoi former un triangle équilatéral, dont on fait que chaque angle vaut 60 degrés. J'ai appliqué mille fois un semblable triangle sur ces sillons d'un champ qui vont rencontrer ceux du champ voisin, sur la nervure qui part de la côte d'une de ces feuilles, sur les barbes de plume, inclinées de même à une tige commune, & j'ai été surpris de la précision avec laquelle il s'y ajustoit par ses côtés & par ses angles.

Ce n'est pas seulement les uns aux autres que les filets de glace affectent de se joindre sous un angle de 60 ou de 120 degrés, mais encore à toutes les surfaces polies des matières qui leur sont analogues &

auxquelles ils s'attachent aisément, telles que le verre, la fayence, la porcelaine, &c. je m'en suis particulièrement aperçu en faisant geler l'eau dans des vases de figure ronde; & la raison en est, que cette figure résultant du tour sur lequel ils ont été travaillés, leurs parois & leurs bords ont presque toujours par-là une hardiesse de trait & un poli uniforme qu'on ne voit point dans ceux qui sont à pans ou à parois rectilignes. On y remarquera donc assez souvent de ces grands filets de glace qui tiennent par un de leurs bouts à la surface intérieure, & qui sont avec la tangente menée ou imaginée par le point de contact, un angle de 60 ou de 120 degrés.

Je n'ai guère jugé d'abord de la valeur de cet angle avec la tangente, que par estime, à la vûe simple, ou en appliquant une règle au point de contact; mais le hasard m'a fourni là-dessus plus d'une fois un moyen de vérification auquel je ne me serois pas attendu. Il m'a fait rencontrer de ces longs filets de glace qui se joignoient aux parois du vase par leurs deux bouts, & qui devenoient par conséquent la corde ou la soutendante d'un arc de sa circonférence: j'ai pris la longueur de cette soutendante avec le compas, je l'ai portée sur le reste de la circonférence du vase, & elle m'en a donné le tiers tout juste, ou sensiblement tel: c'est-

à-dire, que trois de ces cordes y auroient inscrit un triangle équilatéral, ce qui, comme on fait, ne peut arriver sans que l'angle de la corde avec la tangente ne soit de 60 ou de 120 degrés. Je ne dis pas que cela arrive toujours, mais quelquefois, & plus souvent que le simple hasard ne le comporte (a).

Les congélations des liqueurs aqueuses & lixivielles ou urineuses, donnent cet angle d'une manière plus constante & plus marquée.

On pourroit croire que ce sont les sels contenus dans ces liqueurs qui déterminent les parties de l'eau ou ses filets de glace à prendre entr'eux cette inclinaison qu'ils ne prendroient pas toujours par eux-mêmes; mais les crySTALLISATIONS de ces sels donnant des figures très-différentes, pourquoi n'y en a-t-il qu'une qui se développe, & qui indique toujours l'angle de 60 degrés dans la congélation des liqueurs où ils sont dissous, soit pures, soit mêlées avec une grande quantité d'eau ordinaire? Tous ces sels, dis-je, sont différens & différemment rassemblés dans la même liqueur. L'urine seule en contient un grand nombre d'espèces (b); du volatil,

(a) Une de ces cordes est représentée dans la figure de la *Planche I.*

(b) V. le Mém. de M. Geoffroy sur la nature & la composition du sel ammoniac. Mém. de l'Acad. 1720, p. 127.

du fixe, du sel ammoniac, qui se crystallise en grumeaux de neige ou de farine, du sel marin, qui donne des cubes, &c. Tous ces différens sels avec leurs crystallisations particulières concouroient-ils à ne donner dans nos congélations aqueuses que l'assemblage constant de filets sous le même angle ? Il est bien plus naturel de croire que les particules de ces sels, disjointes & parsemées çà & là dans la partie purement aqueuse & plus abondante de la liqueur, ne faisant qu'y interrompre le cours réglé de la matière subtile dans l'eau, laissent à ses parties intégrantes une plus grande liberté de se joindre entr'elles, selon la tendance ou l'inclinaison qui leur est propre : ce qui détermine le total du mixte dans sa congélation à ne donner que des filets de glace assemblés sous cette tendance générale. Je pense aussi que les particules salines de l'urine unies à celles de l'eau en augmentent le ressort & la roideur dans la congélation, & favorisent d'autant par-là l'effet de leur tendance. C'est ainsi apparemment que les sels en général augmentent l'émission & la force des particules odorantes des végétaux lorsqu'ils y sont mêlés avec un peu d'humidité.

Nous aurons occasion dans la suite de parler des figures que produisent les congélations des lessives qu'on tire des cendres

des plantes brûlées. Arrêtons-nous présentement à la congélation de l'eau mêlée d'urine, ou de l'urine même.

Si l'on expose cette liqueur, encore récente, quoique cette condition ne soit pas absolument nécessaire, à la gelée, dans quelque grand vaisseau évasé, tel qu'une assiette ou un bassin, on y verra bien-tôt toute la superficie de la glace gravée, ou plutôt sculptée en bas-relief* des figures que nous avons décrites ci-dessus, dont les filets ou les hachures feront toujours avec quelqu'autre semblable amas de filets, ou avec un autre filet plus ou moins grand, un angle de 60 ou de 120 degrés, selon que la cause mécanique de l'attraction de ce filet, contigu ou voisin, sera plus efficace. Les bords du vase l'emporteront aussi quelquefois sur les filets prochains, & c'est contre leurs parois intérieures, & relativement à la tangente du point de contact, que se manifesterait l'angle de 60 degrés. Il résultera de tout cet assemblage, tantôt de grandes étoiles à six rayons, qui étant pris deux à deux avec ces filets qui s'y joignent obliquement & en convergence vers le centre, représenteront trois pièces d'une croix de Malte, tantôt des feuilles de trois ou quatre pouces de longueur, dont la nervure rectiligne aboutit de part & d'autre à la même côte, ou un peigne à deux

* En relief, par la raison qui en a été donnée, *sup. p. 108.*

rangs de dents obliques à sa *traverse*, & cent autres figures, selon que ces compartimens seront diversement distribués, par les circonstances que nous venons d'indiquer. Après quoi l'on peut hardiment promener le triangle rectangle sur cette espèce de marqueterie, il s'ajustera par-tout entre les filets du premier & du second ordre, ou même d'un troisième & d'un quatrième ordre, avec une justesse surprenante*.

Un plus petit vase, & d'environ quatre pouces de diamètre, m'a presque toujours donné une de ces feuilles, ou un de ces peignes en pointe, dans toute sa longueur, comme dans le grand vaisseau plat, c'est-à-dire, de près de quatre pouces de longueur; ce qui sembleroit indiquer que malgré cette variété de grandeurs que l'on remarque ici, il y en a une entre les limites de laquelle ces congélations tendent à s'arrêter, comme

* J'ai tâché de représenter une de ces congélations dans la *planche III*; mais je n'y ai réussi que bien imparfaitement. J'ai manqué d'art, d'adresse & de patience; sans compter que ne pouvant guère soutenir ce travail qu'en un lieu tempéré, la glace commençoit à fuser, à fondre, les traits dispa-roissoient, & j'étois bien-tôt obligé à les tracer de mémoire. Ainsi l'on peut s'assurer que bien loin qu'il y ait rien d'outré dans la figure par rapport à cette régularité d'angles & à la singularité de ce tissu, tout y est au contraire fort au dessous de ce que j'ai souvent observé dans la Nature. J'y ai négligé la plupart des subdivisions en troisièmes & quatrièmes filets, &c.

on l'observe dans plusieurs autres concrétions tant fossiles que provenant du genre animal & du végétal.

CHAPITRE VIII.

Exemples & inductions en faveur de cette tendance.

LA précision d'un angle de 60 degrés, sous lequel je dis que s'assemblent les particules de l'eau qui se glace, lorsqu'elles en ont la liberté, ne surprendra point ceux qui ont un peu étudié la Nature. Il seroit peut-être plus extraordinaire, & par-là plus merveilleux, que les parties de l'eau, en se glaçant, n'eussent point entr'elles quelqu'un de ces arrangemens particuliers & déterminés que l'on remarque dans presque tous les autres corps qui se crySTALLISent. Cependant comme cette propriété pourroit paroître encore bien paradoxes, qu'il me soit permis d'en rapporter ici quelques exemples. Il y en a tel qui prouvera du moins qu'on n'a pas toujours vû dans ce genre des singularités qu'on avoit eues mille fois sous ses yeux.

Ces mêmes congélations urineuses dont nous venons de parler, & qui sont si régulières, si rectilignes & si constamment assujéties à l'angle de 60 degrés, ou de 120

son complément, comment les a-t-on vûes! comme des rameaux courbes & arqués de fougère sortant de leur tige sous différens angles indéterminés & fortuits, de 40 ou 50 degrés *, sans que rien puisse nous indiquer, dans les descriptions & dans les figures qu'on en a données, cette direction & cette constance angulaire qui sautent aux yeux.

Nous avons déjà dit un mot de la régularité avec laquelle les six globules du sang, qui en composent un plus gros, s'ajustent ensemble pour le former; ce qui assurément ne sauroit se faire sans une tendance dont la direction des uns vers les autres ne soit bien déterminée. Quatre petits globules se touchent quarrément, un cinquième est posé sur le vuide qu'ils laissent au milieu du quarré, & un sixième se place au dessous à l'opposite de celui-ci.

Les six ensemble venant à se comprimer les uns contre les autres par une force quelconque, sont réduits à ne former qu'une sphère polie, à la surface de laquelle on voit seulement les traces de leur attouchement & de leur union, en six quadrilatères curvilignes, égaux & semblables. Chacun des composans, qu'on peut appeller du second ordre, est lui-même composé de six autres semblablement arrangés, qui seront

* V. par ex. Ed. Luidii *Lithophylacii Britannici Ichno-graphiam*, p. 122, &c.

du troisième, ceux-ci de six autres du quatrième ordre, & ainsi de suite, sans qu'on puisse prescrire un dernier terme à cette progression géométrique & *sénnaire*. De manière que, selon Leeuwenhoek qui les a vus au microscope, & qui nous en a détaillé la structure, chacun des gros globules du sang est au moins composé de 36 globules ainsi décroissans *. Dans le sang de certains poissons, ce ne sont plus des globules, mais de petits corps ovalaires qui ont un vuide au milieu, comme des anneaux, ou plutôt comme des chapelets de plusieurs grains de semblable figure, qui se touchent, comme feroient plusieurs pierres d'aimant, par leurs poles; car je ne doute point qu'il n'y ait ici quelque chose de fort analogue aux tendances magnétiques, tant à l'égard de ces particules rouges du sang des poissons, que des globules du sang humain. Les plus petites de ces parties, visibles au microscope, surpassent des millions de fois en petitesse un

* On en peut voir les figures, *Pl. II, num. 2. figg. G, L, M, N*, d'après cet Auteur, *Arc. Nat. det. t. 3. Ep. 128*, & mieux encore d'après M. Martine, *Essais & Obs. d'Edimb. t. 2. G* représentant les six globules qui en composent un gros, *L*, dont le diamètre est par conséquent à celui de chacun des petits, en raison de la racine cubique de 6 à la rac. cub. de 1, ou très-approchant, comme 20 à 11; ce qu'il faut imaginer de même en sous-ordre de chacun des petits, *G*. Le sixième globule de ce groupe est censé au dessous de celui qui occupe le milieu entre les quatre.

grain de sable, quoique apparemment elles soient des millions de fois plus grosses que les parties intégrantes de l'eau, dont aucun instrument d'optique n'a pû jusqu'ici nous faire apercevoir la figure ni la grosseur. Voilà ce qui nous manque pour découvrir dans celles-ci un mécanisme que nous ne pouvons leur attribuer que par conjecture, & d'après certains phénomènes.

Les sels, comme nous l'avons déjà fait entendre, affectent & retiennent constamment certaines figures, certains arrangemens de parties dans leurs cristallisations. Les uns, comme le sel marin, donnent des cubes ou des pyramides un peu creuses, dont les aiguilles sont parallèles aux côtés du quarré & autour du centre des trémies dont ces cubes sont formés; les autres des prismes à pans, égaux ou inégaux, des aiguilles, des polyèdres de différente espèce.

Les morceaux de crystal d'Islande sont autant de parallélépipèdes obliques, dont les six faces prises deux à deux forment alternativement entr'elles des angles aigus de 78 degrés 8 minutes, & des angles obtus de 101 degrés 52 minutes, complémens réciproques les uns des autres à deux droits*, comme le sont dans la glace de l'eau les angles de 60 & de 120 degrés.

Il en est de même de la plûpart des

* Huguens, *Tr. de la Lumière*, c. 5.

fossiles, soit crySTALLINS, soit métalliques, dans leurs concrétions, des pierres figurées de toute espèce, & sur-tout des pyrites formées comme de petits dés, tant cuivreuses & dorées, que ferrugineuses & arsénicales ou blanches, dont il semble que la structure admirable, toute visible qu'elle est ordinairement sans le secours de la loupe & du microscope, ait échappé aux Naturalistes: du moins ne trouvai-je nulle part qu'ils en aient parlé.

Ce que je remarque donc de plus singulier dans cette construction, & qui vient parfaitement à notre sujet, c'est que ces pyrites cubiques, ou parallélépipèdes rectangles, toutes composées de petites aiguilles de même matière, ont toujours régulièrement ces aiguilles dirigées à angles droits les unes à l'égard des autres; non sur un même plan, comme celles de la superficie de la glace, sous l'angle de 60 ou de 120 degrés, mais par rapport à celles des autres faces du cube: c'est-à-dire, qu'elles sont parallèles entr'elles sur chacune des six faces du cube, & perpendiculaires à celles de chacune des quatre faces contigues, qui par la nature du cube ou du parallélépipède rectangle sont elles-mêmes perpendiculaires l'une à l'autre *.

Si ce n'étoit ici qu'un amas fortuit de paillettes métalliques, indéterminées par

* V. *Planche II, num. 3, fig. C.*

elles-mêmes , & sans aucune cause , aucun fluide interne ou externe qui les dirigeât , elles ne s'arrêteroient pas toujours à ne former que des cubes ou des grumeaux de cubes , comme elles font quelquefois , elles ne seroient pas toutes parallèles. Si elles étoient toutes parallèles entr'elles , elles pourroient ne l'être pas à deux côtés opposés de la face quadrilatère , & perpendiculaires aux deux autres. Si elles se trouvoient ainsi disposées sur l'une des faces , elles ne le seroient pas toujours de même sur les autres , elles les couperoit sous un angle quelconque ; mais pourquoi toujours sous l'angle droit ? Comment les fibres ou les aiguilles des quatre faces contigues se disposent-elles toujours de manière à être coupées perpendiculairement par celles de la face contigue ? Ce qui est même d'abord assez mal-aisé à imaginer ; car les fibres de cette face pourroient être perpendiculaires à celles des deux faces voisines & opposées , & parallèles à celles des deux autres faces semblablement opposées. Pourquoi enfin n'est-ce pas tantôt d'une façon , tantôt de l'autre , en différens cubes ? Qu'est-ce que de simples aiguilles , des paillettes métalliques dépourvues de toute tendance particulière des unes vers les autres , pourroient produire par leur rencontre , que des amas informes & variables dans l'intérieur de la terre , & parmi une

infinité d'autres substances qui les environnent, qui les heurtent & qui les compriment de toutes parts ?

Mais il y a plus, cette disposition constante de fibres n'est pas seulement extérieure, elle est continuée jusqu'au centre du cube, toutes ses couches, toutes ses enveloppes suivent la même loi : de manière que ce cube peut être considéré comme résultant de l'assemblage de six pyramides quadrilatères qui ont pour base chacune de ses six faces, & leur sommet à son centre. On peut imaginer, dis-je, qu'un semblable cube est formé par l'apposition des plans de pareilles fibres les unes sur les autres, depuis l'extrême petitesse du cube naissant, jusqu'à l'état où on le voit. Chaque pyramide n'est composée, par conséquent, que de plans d'aiguilles ou de paillettes parallèles entre elles, & à celles de la pyramide qui lui est directement opposée par le sommet, mais perpendiculaires à celles des quatre pyramides latérales & contigues *: ce que le hasard encore & des arrangemens fortuits ne

* Soit *C* (*Planche II*, num. 3.) le cube pyrite, & *P* l'une de ses pyramides composantes; les hachures parallèles de ces figures représentant la direction des fibres, & les points leurs sections. Si l'on coupe un tel cube par un plan parallèle à deux de ses faces quelconques, la figure *S* représentera la section qui passe par le centre, & Σ celle qui passeroit entre le centre & l'une des faces; cette dernière donnant quatre tra-

fauroient assurément pas produire , & qui ne peut être attribué qu'à une tendance de parties bien déterminée & bien constante , quel qu'en puisse être le mécanisme , & quelle qu'en soit la cause ; en un mot, telle que je la conçois dans les aiguilles de la glace , par rapport à l'angle sous lequel elles ont coutume de s'assembler dans un même plan ,

pèzes alternativement hachés & ponctués autour d'un quarré haché perpendiculairement aux deux trapèzes de même espèce ; & ces trapèzes étant d'autant plus grands , & le quarré d'autant plus petit , que la section approchera davantage du centre. Pour mettre sous les yeux la différence de cette construction d'avec celle que nous avons attribuée ci-dessus au cube de sel marin , soit *M*, (*Num. 4.*) un de ces cubes , comme on le voit à la loupe ou au microscope , & *T* l'une des trémies ou pyramides composantes , les trémies décroissantes qui la remplissent s'emboîtant successivement les unes dans les autres , depuis la plus grande dont les bords se confondent avec les arêtes du cube , jusqu'à la plus petite dont les bords & la pointe se confondent sensiblement avec le centre de la face du cube. La section de ce cube parallèlement à deux de ses faces & par son centre , ne donne qu'un quarré *Q* , rempli de points ou des extrémités des aiguilles coupées dans les pyramides latérales ; mais sa section moyenne , entre le centre & l'une des faces , produira le plan quarré *Z* , composé de quatre parallélogrammes rectangles hachés parallèlement à ses côtés autour d'un quarré au milieu , haché dans les mêmes sens , & quatre quarrés ponctués aux quatre angles ; ces quatre quarrés étant d'autant plus grands , & les parallélogrammes d'autant plus petits , que la section approchera davantage du centre. Les sections obliques des deux cubes *C* & *M* , par les arêtes opposées diagonalement , par les angles solides , &c. produiroient d'autres singularités que je passe sous silence ,

quoique d'une manière moins invariable, par les raisons que j'en ai déjà dites, ou que je dirai ci-après.

Toutes ces substances & cent autres dont je ne parle pas, affectent donc un arrangement déterminé & une direction de fibres qui ne diffèrent de celles des parties de l'eau qui se glace que par l'angle sous lequel elles s'arrangent, & par quelques autres circonstances, qui bien loin de détruire l'analogie ne font que la confirmer.

Mais terminons ces inductions par quelque chose de plus positif.

CHAPITRE IX.

Preuves directes de la tendance des parties de l'eau à s'assembler sous un angle de 60 degrés.

IL n'est pas bien rare qu'il tombe de la neige composée ou parsemée d'étoiles à six rayons égaux, également distans l'un de l'autre, & avec une exactitude que le compas le plus fin & la main la plus sûre pourroit difficilement nous procurer. Elles sont tantôt plus petites, tantôt plus grandes, quelquefois de plus de deux lignes de diamètre, mais presque toujours observables à la vûe simple*.

* Voyez-en la figure, à peu près de la grandeur la plus ordinaire, lettre *A*, sous le num. 5, Pl. II. Il sera parlé

Voilà donc de petits filets d'eau ou de glace, qui étant suspendus dans l'atmosphère, & en pleine liberté d'exercer leurs tendances, se sont joints les uns aux autres sous l'angle de 60 degrés; car ce nombre est la 6^{me} partie des 360 degrés que contient le cercle, & par conséquent la mesure de chacun des six angles égaux qui ont leur sommet à son centre.

Mais prenez garde que ces rayons se trouvent le plus souvent chargés d'autres petits filets de glace qui s'y joignent en second ordre, à ceux-ci d'autres encore en troisième ordre, &c. & toujours sous l'angle constant de 60 degrés; ce qui est visible au microscope, par leur parallélisme avec le rayon ou filet de l'ordre supérieur qui est à côté, & dont il résulte une espèce de branchage & de rosette qui ne seroit pas indigne de tenir sa place parmi les ornemens du meilleur goût. M. Musschenbroek a observé de ces étoiles, hexagones & branchues, où l'angle de 60 degrés se manifeste de toutes parts, & il en a donné une figure qui exprime fort bien tout ce que nous venons d'en dire *. J'en ai vû une fois à Paris de la

des suivantes, *B, C, D, F*, ci-après dans la troisième Section; mais elles peuvent en attendant donner une idée de la variété qui règne dans ces figures, dans des neiges tombées en divers temps, ou en différens pays.

* *Essai de Physique*, p. 806. Voyez-la dans notre *Pl. II, num. 5, fig. F*, qui est, comme on peut juger, beaucoup plus grande que nature.

même espèce, quoiqu'un peu moins composées. Deux autres sortes d'étoiles que feu M. Cassini observa dans la neige en 1692 (a), ne diffèrent de celles de M. Musschenbroek qu'en ce qu'au lieu de simples branches qui se fourchent en plusieurs autres, ce sont comme des rameaux garnis de leurs feuilles; & je suis fort trompé si ce ne sont-là encore les étoiles *sexangulaires* vûes par Képler, le premier, que je sache, qui en ait fait mention, & qui soit entré là-dessus dans quelque détail (b). Il y en a enfin qui n'offrent à la vûe que six rayons pointus, à la manière dont on peint ordinairement les étoiles du Ciel, & de plusieurs autres figures, qui reviennent toujourns dans leurs parties, à la même loi de l'angle de 60 degrés, & dont le dénombrement seroit superflu.

Ce qu'on allégueroit, que ce sont peut-être les exhalaisons salines élevées dans la même région de l'air qui déterminent les vapeurs aqueuses & les particules de glace à prendre cet arrangement, ne me paroît d'aucune vrai-semblance : car outre qu'on pourroit en dire autant & à plus juste titre de la partie inférieure de l'atmosphère où nous observons la congélation de l'eau, d'où ré-

(a) Mém. de l'Acad. To. X, p. 37.

(b) *Strena*, seu de nive *sexangula*, p. 5. . . . flocculi sparsim in vestem meam deciderent, omnes sexanguli, villosis radiis.

fulteroit indirectement & quant à l'effet la même tendance dans les particules de l'eau, nous répondrons encore ici, que des sels de tant d'espèces, & dont les crySTALLIFICATIONS sont si différentes, ne sauroient donner toujours avec cette régularité & cette constance, le même angle aux particules d'eau ou de glace qui s'arrangent entr'elles.

Descartes, dans ses *Météores*, a eu sur ces sortes d'étoiles une idée aussi simple qu'ingénieuse. Six cercles égaux, décrits autour d'un septième, le toucheront & se toucheront entr'eux; il en sera de même de six sphères autour d'une septième sur un même plan, & par conséquent six gouttelettes d'eau sphériques qui s'assembleront autour d'une de leurs semblables y formeront un fleuron hexagone, ou à six pointes, si l'espace triangulaire qu'elles laissent entr'elles & celle du milieu est supposé rempli de glace. Et si l'on imagine qu'ensuite plusieurs autres gouttes ou particules semblables viennent s'ajouter à la file autour de celles-ci, & sur les mêmes six rayons qu'elles forment en partant du centre commun, il est clair qu'il en résultera une étoile hexagonale: ce qui s'exécutoit en ce cas sans qu'il y eût aucune force impulsive ou attractive, aucune tendance qui les y déterminât. Voilà en gros l'explication de ce Philosophe; des cercles ou des globules quelconques mous & flexibles, qui se com-

primeront ainsi réciproquement les uns autour des autres, se changeront toujours en des hexagones.

Erasme Bartholin donna en 1661 une Dissertation sur les étoiles hexagonales de la neige*, où il adopte totalement l'explication de Descartes, qu'il a seulement ornée de quelques détails, & d'une érudition qui n'y change rien pour le fond. Il insiste beaucoup, & avec raison, sur ce qu'il ne faut expliquer les phénomènes que par voie mathématique, & par le pur mécanisme. Mais le mécanisme n'est pas moins fondé, en pareille occasion, sur le mouvement communiqué aux solides ou aux parties intégrantes des corps quelconques par un fluide invisible qui en détermine l'arrangement, à raison de sa direction & de leur structure interne ou externe, que par la raison purement géométrique de leur figure & de leur masse. Concevroit-on sans cela l'arrangement fixe & déterminé de la limaille de fer autour d'une pierre d'aimant ! Ainsi lorsque le géométrique pur & inanimé se trouve visiblement insuffisant pour produire certains effets, il faut bien avoir recours à ces fluides subtils & actifs, dont mille autres effets nous décèlent l'existence.

Je ne doute pas que la théorie de Des-

* *De figura nivis*, qu'on trouve à la fin de la Dissert. de son frère (Thomas B.) *De nivis usu Medico*.

cartes ne puisse avoir lieu en une infinité de cas, & n'influe beaucoup sur l'hexagonisme si ordinaire dans la Nature. Les yeux ou les crystallins de la plûpart des mouches, rassemblés par milliers aux deux côtés de leur tête, ne nous présentent que des hexagones; les alvéoles des rayons de miel, les capsules des graines de plusieurs plantes sont hexagones, & presque tous les cristaux dans leur formation ne consistent qu'en des pyramides ou des prismes sexangulaires. Cependant est-il bien sûr qu'il n'y ait dans tous ces cas que la théorie de Descartes à consulter? Le pentagonisme n'est guère moins commun dans la Nature: quantité de plantes nous l'indiquent également par les capsules de leurs graines, & par les pétales ou feuilles de leurs fleurs, les étoiles marines par leurs rayons, plusieurs fossiles, & presque tous les échinites par la disposition de leurs piquans.

Je ne pense donc nullement que cette théorie soit applicable au phénomène dont il s'agit, non plus qu'à une infinité d'autres qui peuvent lui ressembler.

Car 1° Pourquoi les petits globules d'eau qui composent la nue ne s'assemblent-ils que sur un plan? Que deviennent ceux qui se trouvent pêle-mêle au dessus & au dessous de ce plan? Que pourroit-il jamais ou presque jamais résulter d'un tel assemblage fortuit, que des grumeaux plus ou moins approchans

de la sphéricité, des pelotons, comme on en voit quelquefois dans certaines grêles!

2° Par quelle complication de hasards fix de ces globules d'un second rang circulaire qui, à la rigueur, en contient près de douze & demi autour des six premiers, viendroient-ils s'ajuster précisément sur le même plan, sur les mêmes six rayons menés du centre, & ainsi des rangs supérieurs? Ne devraient-ils pas plutôt tomber entre deux globules & dans l'angle formé par les rayons? N'y trouveroient-ils pas plus de facilité à se loger? N'y seroient-ils pas poussés par leurs voisins des rangs supérieurs? Car un corps pressé de toutes parts par ceux qui l'environnent, se dirige toujours vers le côté où il est le moins pressé, comme ici, par exemple, vers le vuide ou l'intervalle que laisseroient entr'elles les extrémités des deux rayons. Ajoûtez que la difficulté de ces hasards, & je pourrois dire l'impossibilité, croît en raison de la longueur des rayons, par rapport à leur grosseur; car il y a alors d'autant plus de rangs à imaginer. Or la grosseur des rayons dans ces étoiles les plus simples, ne fait pas quelquefois la 10^{me} partie de leur longueur.

3° Quand nous admettrions contre tous ces principes la formation d'une de ces étoiles à six rayons simples & dans un même plan, comment concevriions-nous la formation de celles qui sont plus composées, dont les rayons

sont chargés de branches *, & ces branches d'autres encore , comme dans les arbres , où elles se subdivisent à l'infini ! Qu'est-ce qui leur fait équilibre contre l'effort ou le heurt des globules d'eau ambiants , vers le centre de l'étoile , ou à la partie inférieure du rayon primitif avec lequel elles font un angle de 120 degrés , complément à celui de 60 qu'elles font avec la partie supérieure de ce même rayon , & ainsi de suite pour les branches qui naissent des rayons secondaires ! La répétition constante de cet effet contre toutes les règles de Statique , ne prouve-t-elle pas & la fausseté d'un tel mécanisme en pareil cas , & la certitude d'une autre cause ! Il y a aussi tout lieu de croire , que Descartes , dont le principe est d'ailleurs excellent , n'avoit vu que de la neige où les étoiles étoient beaucoup moins composées que celles dont nous venons de parler , mais beaucoup plus que celles que nous avons appelées simples : c'est-à-dire , que leurs six pointes sembloient sans doute y retenir visiblement la figure des six espaces triangulaires que laissent entr'eux six cercles qui en touchent un septième de même diamètre.

4° Enfin si cette propriété de globules qui n'ont d'ailleurs nulle tendance , nul arrangement déterminé les uns à l'égard des autres , avoit lieu en pareil cas , ce qui est

* Voy. *Planche II, num. 5, fig. F.*

inconcevable, pourquoi les globules du sang d'un second ordre ne s'arrangeroient-ils pas de même de six en six autour d'un autre globule, & dans un même plan? Car dès que c'est la figure & le cas fortuit qui opèrent ces arrangemens, la matière n'y fait rien, & que ce soient des gouttes ou des globules de sang, d'eau, ou de telle autre substance quelconque, l'effet en doit être le même. Les globules du sang auroient seulement cet avantage, qu'une égalité plus parfaite règne sensiblement entre ceux de l'ordre inférieur qui en doivent produire un plus gros; ce qu'on ne peut pas supposer de même entre les gouttes d'eau, & qui est pourtant requis pour la propriété géométrique. D'où vient, en un mot, que la loi géométrique de l'arrangement hexagonal dans un même plan n'a aucune prise sur ces globules? Car, comme nous l'avons vû dans le Chapitre précédent, ils s'arrangent quarrément & de quatre en quatre sur ce plan, laissant un espace vuide au milieu, sur lequel s'ajuste un autre globule du même ordre, & un autre au dessous, pour former le gros globule composé de ces six secondaires, & ainsi de suite de ceux du troisième ordre à l'égard de ceux-ci, &c. Que devient, dis-je, en ce cas la raison géométrique des six globules autour d'un septième?

Il faut donc reconnoître dans les particules
de glace

de glace qui forment les étoiles de la neige, comme dans les globules du sang, une autre cause, une cause active, un mécanisme plus caché, plus compliqué, & dont nous ignorons le détail, une direction de fibres, de pores, ou de tuyaux, &, je ne crains point de le dire, une espèce d'organisation qui rend ces particules susceptibles du mouvement ou de la tendance que leur imprime quelque fluide subtil qui se meut dans leurs interstices, ou dans les parties mêmes qui les composent, & qui les détermine à cet arrangement constant, toujours relatif à l'angle de 60 ou de 120 degrés.

Nous toucherons encore quelque chose de ce principe de fait, qui est de la dernière importance, dans un des chapitres suivans, & toutes les fois que l'occasion se présentera de le confirmer.

C H A P I T R E X.

Troisième cause de l'augmentation de volume de l'eau dans sa congélation, le dérangement des parties en vertu de leur tendance à former entr'elles un angle de 60 degrés.

CETTE tendance vient d'être prouvée autant que pouvoit le comporter le sujet : on a vû de plus, & par l'inspection

même de la congélation de l'eau, ou que ses parties intégrantes doivent être oblongues, ou que les premiers amas sensibles qui en résultent dans la congélation, sont oblongs. De ces deux faits suit évidemment un principe de dilatation & d'augmentation de volume dans l'eau qui se glace. Des parties oblongues qui font effort pour se joindre & s'agrouper sous un angle quelconque, doivent nécessairement s'écarter les unes des autres en divergence du côté opposé à leur jonction, & d'autant plus que cet angle est plus grand, ou approche davantage de l'angle droit. Celui de 60 degrés, que toutes nos observations nous indiquent comme le plus ordinaire, seroit sans doute beaucoup plus grand qu'il ne faut pour donner l'augmentation de volume de l'eau qui se glace, si la tendance qui le produit pouvoit s'y exercer dans toute son étendue; mais c'est vrai-semblablement ce qui ne sauroit arriver dans une masse un peu considérable d'eau qui se gèle, quelque grand que soit le froid qui en occasionne la congélation. La matière éthérée qui en entretenoit la liquidité ne peut l'abandonner, ni assez promptement, ni assez parfaitement, pour produire un si grand effet, qui n'a lieu que sur de petites particules d'eau d'où cette matière peut aisément s'échapper de toutes parts, & passer dans le milieu envi-

ronnant, lorsque par sa structure le corps solide ou fluide qui constitue ce milieu est propre à la recevoir. C'est ce qu'on peut remarquer dans la neige, je ne dis pas seulement dans cette neige étoilée dont nous avons parlé, mais dans la neige la plus commune. Qu'on considère un de ses flocons à la loupe ou au microscope, on le verra tout composé de petits filets de glace, de petites aiguilles groupées les unes contre les autres, &, autant qu'on en peut juger à la vûe, sous l'angle d'environ 60 degrés, ou sous une infinité d'autres angles, toujours fort grands, & jamais ou presque jamais parallèlement à leurs voisines. Je dis presque jamais, car outre que la vérification exacte des angles seroit ici assez difficile, il n'est pas étonnant que des flocons de neige, par leur choc mutuel dans la nue, par leur chute, par la résistance de l'air qu'ils ont à traverser, ou par l'impulsion du vent, se trouvent un peu comprimés en divers sens, & que des parties aussi déliées & aussi friables que celles qui les composent, se dérangent un peu entr'elles, & s'écartent plus ou moins de la position qu'elles avoient auparavant, ou qu'elles auroient eue sans ces obstacles. Voilà un exemple sensible de ce que peut la tendance dont il s'agit, quand elle s'exerce librement sur de petites parcelles d'eau. Le volume qui en résulte est

tel, que 10 ou 12 pouces cubiques de neige ne donneront pas quelquefois un pouce cubique d'eau, tandis que l'augmentation de volume dans une masse liquide d'eau qui se gèle, ne surpasse guère la dixième partie de son volume dans son état ordinaire de liquidité, comme nous le verrons en son lieu.

Les deux premières causes que nous avons assignées à l'augmentation de volume de l'eau qui se glace, sont très-réelles; mais comparées à celle-ci & au phénomène, elles me paroissent foibles, restraints à certains cas, & souvent insuffisantes.

L'une, toute fondée sur la dilatation de l'air qui reste dans l'eau pendant la congélation, & l'autre sur le trouble & le dérangement qu'y cause l'air qui en sort, devroient également cesser d'agir, ou n'agir que bien foiblement, lorsque l'eau a été purgée d'air, soit par des ébullitions répétées, soit par le moyen de la machine pneumatique; mais c'est ce qu'on ne voit point arriver. La glace qui en résulte se trouve toujours avoir acquis à peu de chose près la même augmentation de volume que celle de l'eau ordinaire: preuve qu'il y restoit donc encore une cause d'expansion indépendante des deux autres, & qui leur est vrai-semblablement très-supérieure.

C'est une expérience que j'ai faite plu-

fleurs fois avec beaucoup de soin, & qui
 a été tentée de même par d'autres person-
 nes (a) très-capables d'y réussir, si la chose
 eût été possible : jamais on n'a pû parvenir
 à produire de la glace qui tombât au fond
 de l'eau. Il faudroit pourtant que cela arrivât,
 si l'air dilaté qui reste dans l'eau, & le dé-
 rangement des parties causé par celui qui
 en est sorti, étoient la seule cause de l'aug-
 mentation de l'eau glacée, ou la plus forte.
 Car quand même l'extraction de l'air dans
 la machine pneumatique ne seroit pas par-
 faite, comme elle ne le sauroit être en effet,
 la condensation survenue aux parties pro-
 pres de l'eau pendant son refroidissement,
 & qui seroit très-considérable, devroit l'em-
 porter sur l'effet de la petite quantité d'air
 qui y reste. Je fais que M. Homberg fit
 en 1693 (b) une expérience d'où il conclut
 avoir eu de la glace plus pesante & de
 moindre volume que l'eau dont elle avoit
 été formée : mais ce fut sur la seule inspec-
 tion du morceau de glace que M. Hom-
 berg en jugea, & non sur l'enfoncement
 de cette glace dans l'eau, qui est, selon
 moi, la seule preuve décisive & sans repli-
 que, de la légèreté ou de la pesanteur de
 la glace par rapport à l'eau. Le volume
 apparent est sujet à mille exceptions, &

(a) Par M. Boyle, *Transf. Phil.* n° 62.

(b) *Mém. de l'Acad. To. X, p. 255.*

sur-tout à celle de la dissipation insensible des parties extérieures du morceau de glace, qui, comme nous le verrons en son lieu, peut être fort grande.

D'ailleurs, si l'on ne fait attention qu'à l'effort de l'air renfermé en bulles dans le liquide, & à la force qu'il y doit avoir, pour faire crever les vaisseaux que l'on voit rompre par la glace, l'effet paroît être plus grand que ne le comporte sa cause uniquement attribuée à l'air. Et à l'égard du dérangement qui survient aux parties de l'eau par la sortie de l'air intérieur d'entre ses interstices, au moment de la congélation, l'effort qui en résulte devant être encore proportionnel à celui que fait ce même air pour en sortir & pour les déranger, il est difficile de concevoir qu'il en puisse naître ce gonflement presque invincible, si quelque autre cause ne s'y mêle; & cette cause est, à mon avis, la troisième. Les exemples suivans mettront le lecteur en état d'en juger.

CHAPITRE XI.

De la force de l'eau qui se glace , pour rompre les vaisseaux où elle étoit renfermée , par le concours de toutes les causes qui contribuent à son expansion.

IL est beaucoup plus aisé de se convaincre que cette force est très-grande, que d'en assigner les bornes. Tout le monde a vû crever des vaisseaux épais & d'une matière très-dure, par la congélation du liquide qui y étoit contenu, & nous en avons déjà indiqué les circonstances en décrivant ce qui se passe dans le liquide aux approches de la congélation, & pendant la congélation. Il ne nous reste maintenant qu'à rapporter sur ce sujet quelque chose de plus positif.

Deux gros flacons de porcelaine remplis d'eau, qui étoient sur une cheminée où l'on faisoit du feu pendant le jour, & à l'ouverture desquels j'avois mis des oignons d'hyacinthe, se trouvèrent rompus par la glace le lendemain d'une nuit d'hiver très-froide, & les morceaux de porcelaine qui en étoient tombés, avoient au moins un demi-pouce d'épaisseur.

On lit dans l'histoire de l'Académie des

Sciences, année 1670, que M. Buot répéta sur ce sujet une expérience déjà faite par M. Huguens en 1667. Un canon de fer épais d'un doigt, rempli d'eau, & bien fermé, ayant été exposé à une forte gelée, se trouva cassé en deux endroits au bout de douze heures. Ainsi l'eau qui se gèle a autant de force en pareil cas, que la poudre à canon qui s'enflamme, & apparemment beaucoup plus que l'air le plus comprimé dans les arquebuses à vent.

Mais nous n'avons rien là-dessus de si suivi, ni de mieux circonstancié, que ce qui fut fait dans l'Académie de Florence (a). Entre plusieurs vaisseaux de verre & de différens métaux, la plûpart sphériques ou sphéroïdes, & fort épais, sur lesquels on fit cette expérience, & qui crevèrent tous, il y en eut un de cuivre, sur lequel M. Musschenbroek a calculé l'effort nécessaire pour le faire rompre, effort qu'il a trouvé capable de soulever un poids de 27720 livres (b).

Les plus petites parcelles d'eau converties en glace parmi les fibres des bois les plus durs, suffissent quelquefois pour en rompre tout le tissu. J'ai eu long-temps sous les yeux de tristes preuves de la certitude de ce phénomène en Languedoc &

(a) *Saggi di naturali esperienze, &c.*

(b) *Addit. ad Tentam. Exp. Acad. del Cimento, p. 135.*

en Provence, aux endroits où il y avoit des oliviers : car, comme on le pensa alors dans l'Académie des Sciences *, le rigoureux hiver de 1709 ne fit mourir ces arbres, & quelques autres, tels que les lauriers, les cyprès, les figuiers, les chênes-verds, que parce qu'une forte gelée les surprit après un dégel ou une fonte de neiges, à l'occasion de quoi leurs racines s'étoient imbibées de beaucoup d'eau. Cette eau venant à se glacer dans les petits tuyaux où elle s'étoit glissée, se dilata, écarta les fibres & toutes les parties organiques de l'arbre, qui lui faisoient obstacle, y causa une violente distension, & les rompit. Ce furent même les arbres *les plus vieux & les plus forts qui moururent en plus grande quantité*, parce que leurs fibres se trouvèrent moins flexibles.

Les pierres encore tendres qui ont été mouillées un peu avant la gelée, dépérissent & s'éclatent par feuillets. Les marbres mêmes, lorsqu'ils ont été pétardés, & que l'effort subit de la poudre qui en étonne toute la masse, y a produit mille petites fêlures insensibles où l'eau s'insinue & se gèle, sont sujets à tomber dans le même cas : ce que les Sculpteurs & les Architectes ne doivent pas ignorer.

(b) Hist. de l'Acad. 1710, p. 59.

CHAPITRE XII.

Que la tendance à s'assembler sous un angle de 60 degrés, & l'effort d'expansion qui en résulte dans les particules d'eau qui se glacent, ont lieu indépendamment du froid & de la congélation, en des circonstances semblables à celles de la congélation.

CE que nous venons de voir de l'effort que fait l'eau pour se dilater pendant la congélation, & pour rompre les vaisseaux qui la contiennent & qui s'opposent à sa dilatation, s'est borné jusqu'ici à la congélation même. Mais la congélation ne seroit-elle point simplement une cause occasionnelle de cet effet ? Cet effet en est-il inséparable ? En un mot, les parties intégrantes de l'eau ou ses molécules n'auroient-elles point par leur structure, par la matière éthérée élastique qui les pénètre ou qui les anime, & indépendamment de la congélation & du froid, un principe d'expansion & de ressort, qui ne demande pour se montrer, que des circonstances équivalentes à celles de la congélation ? C'est assurément ce qui mérite d'être examiné, & qui doit achever de mettre dans son jour la théorie

que nous avons proposée sur ce sujet.

Un liquide se glace lorsque la matière subtile, éthérée ou élémentaire du feu, qui constituoit sa liquidité, s'affoiblit de quantité & de ressort entre les interstices des parties qui le composent, ou qu'elle s'en échappe pour passer dans le milieu environnant, ainsi que nous l'avons expliqué dans la première partie de cette dissertation. Mais ces circonstances ne seront-elles pas les mêmes ou équivalentes, lorsque le liquide subdivisé en de trop petites parcelles pour faire encore un tout sensiblement liquide, laissera échapper de toutes parts la matière éthérée qui l'entretenoit dans sa liquidité, ou lorsque ces parcelles environnées d'une substance, soit fluide, soit solide, où cette matière se meut plus aisément, s'en trouveront dépourvûes? Et si ce liquide ainsi subdivisé & imbibé dans cette substance, vient à y exercer une force de ressort, à se dilater, ou à la faire dilater, quoiqu'actuellement privée par elle-même de cette force, ne pourra-t-on point dire que les parcelles du liquide en étoient douées, quelle que soit la cause qui la leur communique? Or c'est-là précisément ce qui arrive à l'eau, dans certaines substances qu'elle pénètre, ou dont elle est pénétrée : elle y exerce cette même force. Donc les parties de l'eau ont en elles-mêmes une force d'expansion & de

ressort indépendamment de la congélation.

Voilà le raisonnement; consultons l'expérience.

La terre proprement dite, & qu'il faut bien distinguer du sable, quelque fin qu'il puisse être, est du nombre de ces substances que l'eau pénètre en se subdivisant, pour ainsi dire, jusque dans ses derniers élémens. Tout corpuscule de poussière, de terre, ou de glaise, qui n'est qu'une terre grasse, formera toujours un tout spongieux perméable à l'eau, tandis que chaque grain de sable n'est qu'une espèce de crystal où l'eau ne sauroit s'imbiber. C'est ce que M. de Reaumur a parfaitement prouvé dans le Mémoire qu'il donna en 1730 à l'Académie des Sciences, *sur la nature de la terre en général*, & qu'il a prouvé par une infinité d'expériences & de faits incontestables qu'on trouvera dans cet excellent Mémoire. Je me contenterai d'y en ajouter un que j'ai souvent observé, & qui est sous les yeux de tout le monde.

On voit souvent dans les jardins, sur les terrasses, & en bien des maçonneries horizontales exposées aux injures de l'air, des marches d'escalier, & de grands quartiers de pierre qui se trouvent écartés les uns des autres d'un intervalle de plusieurs pouces rempli de terre. Comment un pareil écartement a-t-il pû se faire, malgré le poids &

le frottement énormes qu'il y avoit à vaincre ? Il ne faut qu'y réfléchir un moment, & favoir la propriété caractéristique de la terre, pour le concevoir. Un défaut de continuité, un intervalle ou une fente, d'abord imperceptible, entre les deux quartiers de pierre, y admet un peu de poussière terreuse ; cette poussière s'abreuve d'eau par les pluies ou les rosées, se gonfle, les écarte d'autant, & l'intervalle augmente. La sécheresse survient, la terre se condense, laisse un vuide entre deux, de nouvelle poussière s'y loge encore, & cette succession alternative de nouvelle terre, d'imbibition & de sécheresse, parvient enfin à écarter de très-grandes pierres, jusqu'à les déplacer entièrement de leur lit, malgré le mortier du dessous qui les y tenoit enchâssées.

La terre toute seule, & par la force du coin qu'elle ne peut exercer en cette occasion que par son poids, auroit-elle produit un tel effet ? L'eau toute seule, qui est dans le même cas, en eût-elle été capable ? Seroit-ce l'air qui s'est dégagé de l'eau ? Mais l'air, tout élastique qu'il est, n'a rien de pareil à cette force, si une chaleur excessive, ou une compression étrangère, & provenant elle-même d'une force active, ne la lui communique ; & l'on ne voit ici aucun de ces principes de force active, ni de dilatation prodigieuse dans l'air ni dans l'eau. Quelle est

donc la nouvelle force qui naît du mélange de cette eau avec un peu de terre ! Nous venons de l'indiquer.

M. de la Hire rapporte, à l'occasion d'une semblable force, un fait d'ailleurs assez connu *, mais qui mérite ici toute notre attention. Il y a des carrières, & c'est ordinairement de celles qui tiennent de la nature du caillou, & qu'on appelle *molières*, parce qu'on en tire les meules de moulin; il y a, dis-je, des carrières où pour fendre de très-grosses pierres, & pour les détacher du roc, on ne fait autre chose que creuser tout autour, & fort proche les uns des autres, de petits trous d'environ deux pouces de profondeur, sur trois ou quatre lignes de grosseur ou de diamètre. On y fait entrer de force autant de chevilles de bois de saule bien séché au four; on jette ensuite de l'eau par-dessus, les chevilles s'en imbibent, se gonflent, & tout le bloc de pierre se fend, ou, si c'est une meule de moulin & encore attachée au rocher, elle s'en sépare.

Qu'on calcule maintenant la force équivalente qu'il faudroit faire agir pour soulever de tels poids, & en même temps pour vaincre une pareille ténacité de parties. Ce sont cependant quelques gouttes d'eau introduites dans la substance poreuse du saule qui font l'office de cette force, & qui opèrent la

* Mém. de l'Acad. T. IX, p. 495.

merveille. Mais par quelle force cette eau s'y est-elle introduite ? & par quelle mécanique y exerce-t-elle un effort si prodigieux ? Je n'y vois que l'action tranquille & , pour ainsi dire, spontanée de son poids. On auroit beau alléguer encore la raison du coin : le coin n'agit pas tout seul, ou il n'agit que par son poids, si une impulsion étrangère ne vient à son secours. Et où est ici cette impulsion ? où est ce poids équivalent à l'égard de l'eau qui se trouve engagée dans les pores du bois ? Il faut donc reconnoître dans les parties de l'eau une force d'expansion qui leur est propre, & qui ne consiste vraisemblablement qu'en cette tendance à s'incliner les unes vers les autres sous un angle déterminé qui s'y manifeste dans la congélation.

Donc la terre, le bois & toutes les autres substances où les particules aqueuses exercent un si violent effort, n'en sont que la cause occasionnelle, en tant que l'eau s'y trouve subdivisée au point de perdre sa liquidité & de recouvrer sa tendance angulaire & expansive dans les parties qui la composent. Quel que soit le milieu où l'eau se trouvera sous cette forme, l'air, le vuide ou un fluide quelconque, nous y observerons les mêmes effets.

Personne n'ignore l'effort prodigieux des vapeurs renfermées dans un espace assez

étroit pour s'opposer à leur dilatation; la machine à feu inventée en Angleterre n'a pas un autre principe. Mais qu'est-ce qu'un amas de vapeurs, si ce n'est un fluide qui résulte dans cette occasion des parties disjointes d'un liquide ! Les vapeurs ne sont donc que des particules d'eau très-amincies, & qui, étant arrivées à ce degré de subdivision où la matière subtile qui les pénètre, passe en tout ou en partie dans l'espace ambiant, tel que l'air, ou le vuide quelconque, se réunissent en convergence sous l'angle déterminé qu'elles affectent, se dilatent, archoutent les unes contre les autres en manière de chevrons, & remplissent ainsi, ou tendent à remplir, un espace indéfiniment plus grand & treize à quatorze mille fois plus grand que celui qu'elles occupoient étant réunies sous la forme liquide; c'est un amas d'autant de ressorts, ou seuls, ou concourans au même effet avec ceux de l'air: d'où il suit que l'eau, qui dans son état de liquidité est sensiblement incompressible, & conséquemment non élastique, devient par ce changement & par cette subdivision de parties, & compressible, & élastique *.

J'avoue que tous ces faits, & beaucoup d'autres que je supprime, ne prouvent à la

* Voy. les Exp. de M. Clayton, *Phil. transf.* 1739, num. 454, pour montrer que l'eau agitée par le feu est infiniment plus élastique que l'air.

rigueur que la grande force expansive des parties intégrantes de l'eau, ou de ses molécules réduites à un certain degré de petitesse, & nullement leur tendance précise à s'assembler sous l'angle de 60 degrés. Mais l'induction en est si naturelle, d'après ce que nous avons vu qui leur arrive dans la congélation, & sur-tout dans la formation des étoiles hexagonales de la neige, qui ne paroissent être en effet qu'un assemblage de filets de vapeur congelés & assemblés sous cet angle, que je ne pense pas qu'on puisse s'y refuser, jusqu'à ce que de nouveaux phénomènes la détruisent.

Il suit enfin de tout ce que nous venons de dire, & comme nous l'avons déjà observé, qu'au lieu que l'air intimement mêlé dans les autres substances, y perd sensiblement le ressort dont il étoit doué en masse ou dans son état de fluidité, l'eau au contraire y recouvre le sien, par cela même qu'elle y perd son état de liquidité. Or que l'air perde sensiblement son ressort, ou, ce qui revient au même, sa compressibilité dans les substances où il se mêle intimement, & telles que l'eau, par exemple, où l'on fait qu'il est en très-grande quantité, cela n'est pas douteux, puisque le tout, ou l'eau dans son état de liquidité, est sensiblement incompressible. Des effets cependant si contraires en apparence, peuvent fort bien n'avoir qu'une seule

& même cause qui agit différemment sur des parties d'une configuration & d'une structure différentes. Mais prenons garde aussi que les parties de l'air & celles de l'eau, dans des espaces libres, & lorsqu'elles sont les unes & les autres dans un état de fluidité proprement dite, y exercent semblablement leur ressort. Car, comme nous en avons averti dans nos définitions, l'eau réduite en vapeurs cesse d'être un liquide, & ne forme plus qu'un fluide.



SECTION II.

Des Phénomènes de la congélation, relativement à l'état & aux circonstances où se trouve l'eau qui doit se geler. Questions particulières.

CHAPITRE PREMIER.

Si l'eau qu'on a fait bouillir, a une disposition plus prochaine à se glacer.

C'EST une opinion communément reçue, & très-ancienne, que l'eau qui a bouilli se gèle plus promptement, & , en général, se refroidit davantage à un même degré de froid, que de pareille eau qui n'a point été altérée par l'ébullition. Témoin la fameuse eau cuite ou bouillie de Néron, *Neronis decocta*, qui acquéroit par-là, selon Pline *, la propriété de devenir plus froide qu'elle n'auroit fait auparavant, par le moyen de la neige dont on entouroit le vase où on la versoit, & cela, ajoûte-t-il, sans participer des qualités mal-faisantes de la neige. Je crois même que le préjugé a été poussé jusqu'à

* Hist. Nat. l. 31, c. 3, num. 23.

dire que de l'eau qui vient de bouillir & qui n'est pas encore refroidie, se glacera plutôt que de l'eau froide ordinaire qu'on exposeroit à la même gelée.

Quelque absurde que paroisse cette dernière proposition, je n'ai pas voulu me dispenser d'en tenter l'expérience. Mais le succès a été tel qu'on devoit l'attendre; l'eau qui venoit de bouillir n'étoit pas encore tiède que l'autre étoit déjà glacée.

Arrêtons-nous donc à l'eau bouillie qu'on a laissé refroidir au même degré que l'eau *cruë* qu'on expose en même temps avec elle. Il n'est pas si aisé de prévoir ce qui en doit arriver.

J'ai mis deux quantités égales d'eau de rivière, dont l'une avoit bouilli, dans deux vases semblables de même matière & de même grandeur, après avoir vérifié, en y plongeant le thermomètre, & une ou deux heures après l'ébullition de la première, qu'elles étoient au même degré de froideur, savoir, à 5 ou 6 degrés de celui de la congélation, & je les ai exposées à la gelée sur la même fenêtre. J'ai répété plusieurs fois cette expérience & à différentes reprises, & j'ai trouvé que la congélation de l'une & de l'autre arrivoit à peu près dans le même temps, c'est-à-dire, que ce moment étoit ordinairement le même pour les deux, & que quelquefois il y avoit de la différence

d'une ou deux minutes, tantôt à l'égard de l'eau bouillie qui se geloit la première, tantôt à l'égard de l'eau crue dont la congélation étoit plus prompte; ce qui ne doit pas surprendre dans ces sortes d'expériences où mille petites circonstances imperceptibles doivent amener de pareilles variétés dans les résultats. D'où je conclus, comme d'habiles Physiciens * l'ont déjà fait avant moi, que la différence, s'il y en a en vertu de l'ébullition, est insensible.

Il en est de même de la neige & de la glace fondues lorsqu'on les fait geler de nouveau & avec les mêmes précautions, en comparant les temps de leurs congélations à celui de la congélation d'une eau qui n'avoit pas gelé de tout l'hiver.

On voit par-là combien il faut se défier des vrai-séances sur ces matières; car, toutes choses d'ailleurs égales, l'eau qui a bouilli paroîtroit en effet devoir se geler la première, & beaucoup plutôt, conformément à l'opinion commune. En voici les raisons.

Quoique tout ce qui s'élève en forme de bulles d'air de l'eau actuellement bouillante, ne soit pas en effet de l'air qui se dégage de cette eau, & que ce puisse être en partie, ou de la vapeur très-raréfiée, ou une espèce de vuide à cet égard, ou seu-

* Mariotte, *Traité du mouvement des eaux*, in 12, p. 11. Perrault, *Expériences sur la Congélation*, num. 14.

lement de la matière subtile ou ignée, on ne peut douter cependant que l'ébullition n'en chasse une grande quantité d'air : ce qui est prouvé par plusieurs expériences, & sur-tout par celle de la glace même qui se forme de cette eau, & qui est toujours, du moins en apparence & à cet égard, plus compacte, moins poreuse & moins parsemée de grosses bulles visibles, que celle qui n'a pas bouilli, comme il a été remarqué dans la Section précédente. Or ce grand mouvement dans l'eau qui se gèle, devant retarder sa congélation, il semble que celle qui a bouilli, & où, pendant la congélation, il monte moins de ces grosses bulles d'air qui la divisent, & qui l'agitent vers sa surface à mesure qu'elles s'en échappent, devroit se geler à proportion plutôt que celle qui n'a pas bouilli & qui est par-là plus exposée à cette agitation.

On pourroit croire que le temps qu'on donne à l'eau bouillante pour se refroidir au point de celle qu'on lui veut comparer, laisse à l'air celui de s'insinuer de nouveau dans ses interstices ou autour de ses parties, de s'y mêler intimement, & en quelque sorte de s'y dissoudre, & de la remettre par-là dans le même état que celle qui n'a pas bouilli; mais quoiqu'il soit vrai que l'eau purgée d'air par l'ébullition, ou par la machine pneumatique, s'en imprègne de nou-

veau dès qu'elle y est exposée, il paroît cependant par toutes les expériences qui en sont venues à ma connoissance, & principalement par celles de M. Mariotte (a), que la rentrée entière de l'air que l'eau avoit perdu ne se fait qu'en 7 à 8 jours. D'où il suit qu'elle en devoit être encore fort dépourvûe dans le cas de notre expérience & de la question.

Mais il y a plus, les parties intégrantes de l'eau sont-elles si égales, si uniformes, qu'il n'y en ait point de plus volatiles les unes que les autres, & qui s'exaltent par l'ébullition? Le Chancelier Bacon, qui avoit fait bien des réflexions sur ce sujet, s'étoit déterminé pour l'affirmative, & un grand médecin Chymiste de nos jours, qui a traité particulièrement de l'eau (b), est de ce sentiment, *que l'eau paroît être composée de parties plus subtiles, & d'autres un peu plus pesantes; que les premières, comme plus propres au mouvement, montent le plus aisément, & s'élèvent en haut, à l'approche de la chaleur.... qu'en faisant bouillir l'eau, les parties les plus subtiles s'en exaltent, & que les plus grossières & les moins utiles à la santé demeurent.* Cela posé, qui ne croiroit que l'eau, dont on a ainsi

(a) Discours de la nature de l'air.

(b) Frid. Hoffman. *Diss. phys. & med. sur la vertu de l'eau commune*, § VII. Dans le *Recueil des pièces sur les vertus médicinales de l'eau commune.*

enlevé les parties les plus volatiles, n'occasionnât plutôt, & à un moindre froid, la diminution de mouvement de la matière éthérée qui entretenoit sa liquidité, & ne dût se glacer beaucoup plus promptement que celle qui seroit dans son état naturel?

Il résulte du moins de toutes ces observations, ou que les parties intégrantes de l'eau sont plus uniformes qu'on ne se l'imagineroit d'après ces expériences, ou que les parties les plus subtiles de l'eau ne se séparent pas si aisément des plus grossières, & qu'enfin les unes & les autres sont bien difficiles à décomposer, ou même à se déran-ger de l'ordre qu'elles gardent entr'elles, & qu'elles reprennent si-tôt qu'elle retourne à son état naturel. Car il y a certainement quelque arrangement propre des parties de l'eau entr'elles, & qu'elles affectent, soit pendant sa liquidité, soit au moment de sa congélation, comme nous l'avons vû dans la Section précédente.

On pourroit faire une plus forte épreuve de cette espèce d'immutabilité de l'eau par le moyen de la machine ou du *Digesteur* de Papin ; puisqu'on assure * que la chaleur de ce liquide y est portée au point de fondre le plomb & l'étain qu'on y a suspendus avec du fil de fer ou de laiton, la chaleur ordinaire de l'eau bouillante étant, comme on fait, fort

* Musschenbroek, *Essai de Physique*, p. 434.
inférieure,

inférieure à celle qu'exige la fonte de ces métaux *, & passant même communément pour invariable, du moins dans le même climat, & au même degré de compression de l'atmosphère, indiqué par le baromètre. Mais outre qu'il me reste quelque scrupule sur ce plomb & cet étain fondus par le contact de l'eau, plutôt que par le fer & les parois intérieures de la machine qui en sont si proches, je ne sais s'il convient d'appeler chaleur de l'eau celle d'un tout ainsi pénétré des parties du feu, comme l'est le bois lorsqu'il est réduit en charbons ardents. Toutes les substances, dont on auroit rempli un semblable espace, me paroîtroient en ce cas également susceptibles de chaleur. Quoi qu'il en soit, n'ayant pû jusqu'ici m'en éclaircir par moi-même, je ne puis dire ce qui en arriveroit à de l'eau ainsi poussée de chaleur lorsqu'on la feroit geler.

Quant au simple refroidissement de l'eau qui a bouilli, & qu'on a cru plus parfait que celui qu'elle auroit acquis sans cela; en ayant fait l'expérience, tant sur de pareille eau qu'on avoit tenue quelques heures

* La chaleur du plomb fondu, par exemple, selon une Table ou *Echelle des degrés de chaleur*, qu'on trouve dans les *Transactions philosophiques*, n.º 270, est, toutes réductions faites au thermomètre de M. de Reaumur, d'environ 232 degrés au dessus du terme de la congélation, tandis que celle de l'eau bouillante ne va tout au plus qu'à 82 degrés.

au fond d'un puits, que sur celle dont on avoit entouré le vaisseau de neige ou de glace, l'une & l'autre comparée à de l'eau qui n'avoit pas bouilli, & dans les mêmes circonstances, je n'y ai encore trouvé aucune différence sensible.

CHAPITRE II.

*Si les grandes Rivières commencent à geler
par leur superficie, ou par le fond
de leur lit.*

COMME cette question n'en fut jamais une pour moi, & que lorsque je mis la main à cet ouvrage, dans les éditions précédentes, je ne connoissois point d'observation ni d'expérience qui pût me faire naître des doutes sur ce sujet, je crus avoir suffisamment prévenu ceux du lecteur, en exposant, ainsi que j'ai fait dans le premier Chapitre de la Section précédente, la manière dont la glace commence à se former. Cependant l'opinion vulgaire, que la glace des rivières commence par leur fond, ayant trouvé depuis des défenseurs illustres, je ne saurois me dispenser d'en examiner les prétendus fondemens : mais je n'aurai guère besoin pour cela que de transcrire ici ce que j'en ai dit ailleurs *, en donnant le

* Hist. de l'Acad 1743.

précis d'un Mémoire que M. l'Abbé Nollet lut il y a quelques années à l'Académie des Sciences sur ce même sujet.

Quelque système qu'on suive sur la formation de la glace, il est évident que l'eau qui se durcit & se gèle ne reçoit cette nouvelle modification, que par le contact ou par l'approche de quelqu'autre corps dur ou fluide, dont le degré de froideur surpasse celui qu'elle avoit avant que de se geler, & va tout au moins jusqu'au froid de la congélation. Ce ne peut donc être que par sa superficie, par la partie la plus exposée à l'action de ce corps ou de ce fluide, de l'air, par exemple, que l'eau commence à se glacer; & c'est aussi ce que l'expérience confirme, & dont on convient en général.

Nous avons observé ci-dessus, que si dans un temps de gelée on présente à l'air froid un gobelet plein d'eau, on voit bien-tôt paroître à la superficie de cette eau de petits filets de glace, qui venant à se joindre bout à bout, ou latéralement, ou sous une certaine inclinaison, y forment d'abord une espèce de réseau, & enfin une pellicule sensible de glace, plus ou moins épaisse, selon que le froid est plus grand; & que, s'il étoit possible que ces premiers filets ou ces glaçons naissans se formassent au dessous de la surface de l'eau, ils y monteroient

aussi-tôt par leur légèreté ; puisque la pesanteur de la glace est, comme on fait, & comme nous le dirons plus particulièrement, beaucoup moindre que celle de l'eau dans son état de liquidité : ce que l'expérience confirme encore, les premiers glaçons étant toujours aperçus à la superficie.

Par quelle circonstance extraordinaire ces gros glaçons qu'on voit flotter dans les grandes rivières se seroient-ils donc formés au fond de l'eau, ou sur le terrain qui est au dessous, avant que de monter à la superficie ? La froideur de ce terrain n'étoit-elle pas avant la gelée, moindre que celle de la congélation ? Le froid qui a dû se faire sentir dans l'atmosphère n'a-t-il pas dû aussi frapper la surface extérieure du liquide avant que de pénétrer jusqu'à celle du fond, & jusqu'au terrain qui la touche ?

A une théorie si simple & si lumineuse on oppose l'expérience, ou, pour parler plus exactement, le témoignage d'un nombre de gens fort peu en état de discerner & de constater l'expérience, si souvent douteuse ou équivoque. Les meuniers, les pêcheurs, les bateliers, les matelots des grandes rivières, & le peuple qui en fréquente les bords, déposent unanimement en faveur du préjugé, que la glace se forme au fond des rivières, & sur le terrain de leur lit plutôt qu'à la surface de l'eau ; ils disent en avoir

vû monter les glaçons , ou les en avoir arrachés avec leurs crocs , s'ils n'aiment mieux attribuer cet effet au Soleil qui les détache , disent-ils , du fond où ils s'étoient formés pendant la nuit , & qui les attire pendant le jour vers la surface. Il faut convenir cependant que quelques-uns en donnent une raison plus plausible , savoir , qu'on aperçoit souvent sur un des côtés du glaçon flottant des vestiges non équivoques du terrain & du gravier sur lesquels il s'est formé , & sur lesquels en effet il paroît avoir séjourné quelque temps , avant que de rouler avec les eaux.

Mais de semblables glaçons ne viendroient-ils point des bords de la rivière , des îles , des bancs de sable & des bas-fonds qu'elle rencontre dans son cours , & d'où ils auront été détachés & entraînés vers le courant ? Ne faudra-t-il pas aussi en attribuer un grand nombre aux ruisseaux & aux petites rivières qui se jettent dans la grande , & qui par leur peu de largeur & la proximité de leurs bords n'en sauroient guère fournir que de cette espèce ! Car on ne peut douter que ce ne soit , du moins en partie , à de semblables causes que sont dûs ces glaçons que les grandes rivières charrient pendant les fortes gelées. Quoi qu'il en soit , l'Académie consultée plus d'une fois sur cette question , s'en est toujours tenue à la théorie générale , conformément à l'idée & aux

observations de ceux de ses Membres qui avoient le plus travaillé sur les phénomènes de la glace.

Voici cependant un Physicien distingué par la sagacité qu'il fait paroître dans les expériences les plus délicates, qui excepte le cas dont il s'agit de la théorie générale, & qui embrasse l'opinion vulgaire. M. Hales de la Société Royale de Londres, dans son excellent livre de la *Statique des Végétaux*, dit formellement avoir vû en même temps sur une rivière, & la glace de la superficie, qui avoit un tiers de pouce d'épaisseur, & à travers celle-ci une autre glace adhérente au fond, laquelle étant rompue se trouva être de près d'un demi-pouce. Cette glace de dessous se joignoit, ajoute-t-il, à celle de dessus au bord de l'eau, les deux lits de glace s'éloignant de plus en plus l'un de l'autre à mesure que l'eau devenoit plus profonde; & il attribue cet effet au courant de l'eau. « Comme l'on n'a jamais vû*, » dit-il, les étangs, les mares, & toutes » les eaux calmes commencer à se glacer » par le fond, il faut nécessairement que le » courant de l'eau en soit la cause dans les » rivières; car il est sûr que dans les eaux » calmes, aussi-bien que dans la terre, la » surface est bien plus froide que le dessous, » au lieu que dans les eaux courantes le

* De la traduction de l'Anglois, par M. de Buffon.

dessus & le dessous se mêlant ensemble, « deviennent à peu près aussi froids l'un que « l'autre, & le dessus ayant plus de vitesse « que le dessous, & pas plus de froid, il ne « se glace que le dernier. »

Il faudroit donc savoir si l'obstacle que le mouvement apporte à la congélation de la surface de l'eau, peut prévaloir sur celui que le moins de froideur doit causer vers le fond : mais on verra bien-tôt que, toutes choses d'ailleurs égales, le repos de l'eau, bien loin d'accélérer sa congélation, la retarde, ou l'empêche même totalement dans de grandes gelées. Et de plus, pourquoi cette glace formée vers le fond à l'occasion de quelque filet d'eau du dessus qui s'y est porté, ne remonte-t-elle pas au dessus dès l'instant de sa formation, par la raison déjà alléguée de sa moindre pesanteur ? Mais nous n'examinerons pas davantage les suites d'une théorie qui ne sauroit être admise qu'autant que le fait qu'elle suppose seroit certain. Il s'agit de le constater ce fait, ou de le détruire, ou de démêler ce qu'il y pourroit avoir d'équivoque. Le témoignage de M. Hales méritoit bien une pareille discussion, assez curieuse par elle-même & digne de tous les soins que s'est donné M. l'Abbé Nollet pour la rendre concluante & décisive.

Remarquons d'abord, 1^o que les obser-

vaions rapportées par M. Hales, ont été faites dans un endroit de la rivière qui sert d'abreuvoir, & où par conséquent elle avoit peu de profondeur. 2° Que la glace qu'il y a vûe n'ayant qu'un tiers de ponce de profondeur, n'a pû lui permettre de marcher dessus pour l'examiner plus avant. 3° Que le témoignage des pêcheurs est si souvent employé dans ce récit, qu'il est à craindre que M. Hales n'y ait mis trop de confiance.

Il convient qu'en général le dessous de la glace qui se forme sur les rivières n'est point uni, comme on le voit ordinairement à la glace des eaux dormantes; qu'il est moins compacte, & comme enduit d'une poussière de petits glaçons plus ou moins grumelés, en cela semblables aux pierres qu'on tire de la carrière, & qui sont couvertes d'une partie tendre & plus rare, comme d'une espèce de duvet; que de plus, on y trouve souvent de la terre & mille saletés, telles qu'il y en peut avoir au fond des rivières. Mais M. l'Abbé Nollet est bien éloigné de croire que ces glaçons se soient formés sur ce fond & au dessous de l'eau, comme on le suppose, parce qu'on les y a vûs adhérens. Nous ne nierons pas cependant que des bateliers n'aient pû quelquefois retirer de gros morceaux de glace avec leurs crocs à quelques pieds de pro-

fondeur auprès des bords des rivières; mais ce n'est sans doute que parce qu'il arrive aussi quelquefois qu'après une gelée suivie d'un commencement de dégel, les rivières viennent à grossir, & à se geler de nouveau, avant que la glace qui s'étoit formée la première fois à leurs bords, ait fondu, ou s'en soit détachée. Il n'en a pas fallu davantage à des gens sans principes & peu exercés à douter, pour leur faire croire qu'une pareille glace s'étoit formée au dessous de l'eau. Voilà le préjugé établi, & d'autant plus au gré de ceux qui l'ont fait naître, qu'il tient un peu du merveilleux. On ne manque pas ensuite de personnes plus éclairées qui l'adoptent, & qui l'autorisent. Mais on peut hardiment nier le fait tel qu'ils le supposent, jusqu'à ce qu'il ait été mieux vérifié; car tout au moins faut-il que l'expérience soit incontestable pour faire preuve contre des principes évidens, ou pour en fonder l'exception.

Cependant M. l'Abbé Nollet n'en demeura pas là, il chercha la cause de cette différence que l'on remarque entre les glaçons des rivières & ceux des étangs & des eaux dormantes.

Pendant la gelée de 1743, & lorsque le thermomètre de M. de Reaumur étoit beaucoup plus bas que le terme de la congélation, il fit ouvrir de la glace épaisse de

plusieurs pouces sur la rivière de Seine, & en des endroits où l'eau avoit 9 à 10 pieds de profondeur. La pièce de glace enlevée, il vit contre son attente que le duvet attaché à la partie du dessous ressembloit très-souvent à celui qu'il avoit observé plus près du rivage, il y remarqua les mêmes saletés, & il s'aperçut aussi que la surface de l'eau en étoit couverte, quelque soin qu'on prît de les en ôter.

Le duvet de cette poussière de glace, mêlé de petits corps étrangers qui s'y attachent, monteroit-il ainsi du fond vers la superficie, & feroit-ce par cette voie qu'il s'accumuleroit à la partie inférieure des glaçons? Pour s'en éclaircir, M. l'Abbé Nollet fit venir un tonneau dont on ôta les deux fonds, il fit faire dans la glace un trou de même diamètre, & il y plongea perpendiculairement le tonneau jusqu'aux trois quarts de sa longueur. Il forma de cette manière une espèce de puits d'où l'on enleva bientôt & les petits grumeaux de glace, & les saletés qui flottoient sur l'eau renfermée dans ce puits; après quoi il n'y en vit plus, & il demeura convaincu que cette poussière, ces débris, &, pour ainsi dire, ces gravois de glace avec toutes les matières étrangères qui s'y mêlent, obéissent au courant, ne se fixent point aux endroits où la gelée les a fait naître, & ne viennent point du dessous de l'eau.

D'où viennent-ils donc, ou plutôt quelle est la cause de leur formation ? Il n'est pas mal-aisé de l'imaginer. Une infinité de petits glaçons formés sur toute la superficie de l'eau, & principalement vers ses bords, sont entraînés, choqués, brisés, atténués & arrondis par d'autres glaçons & par le courant même, avant qu'ils aient eu le temps de grossir & de s'unir. Poussés contre la surface inférieure des grandes pièces de glace, ou quelquefois jetés au dessus par les vagues, les uns s'y attachent plutôt ou plus tard, selon que mille cas fortuits les y déterminent, les autres continuent de rouler avec le courant. Enfin chargés de toutes les particules de matière étrangère qu'ils portent avec eux, ou qu'ils rencontrent sur leur chemin, de terre, de vase, d'écume, de paille, de brins d'herbe, ils forment au dessous, aux côtés, & quelquefois au dessus des gros glaçons, tantôt cette espèce de duvet rare & spongieux qu'on y observe, tantôt cette superficie âpre & grumeleuse qui n'y est pas moins ordinaire, & où l'on croiroit voir l'empreinte d'un terrain sur lequel ils auroient pris naissance : & il ne faut pas douter que parmi ces glaçons il ne s'en trouve plusieurs où cette apparence d'empreinte n'est pas trompeuse, & qui retiennent même des fragmens de la rive dont ils se sont détachés, ainsi que nous l'avons déjà fait

entendre ; mais il suffit que pour la formation des uns ni des autres nous n'ayons nullement besoin de recourir à la prétendue congélation du fond de l'eau.

Enfin pour ne laisser aucun sujet de doute sur la froideur du fond de l'eau, par rapport à celle du dessus, en un temps de gelée, nous allons en rapporter la preuve de fait que M. l'Abbé Nollet nous fournit encore.

Il a plongé plusieurs fois & en différentes années des thermomètres au fond de la rivière, soit au commencement de la gelée, soit lorsque la glace de la superficie avoit 2, 3, 6, & jusqu'à 8 pouces d'épaisseur, & il n'a jamais trouvé l'eau de ce fond au degré de froid nécessaire pour la convertir en glace. Il est vrai qu'elle en a souvent approché, mais ce n'a été qu'après plusieurs jours de forte gelée, & nullement lorsque la glace de la superficie n'avoit que trois quarts de pouce d'épaisseur, & comme on peut juger, encore moins lorsqu'elle n'étoit que d'un tiers de pouce, qui est le cas où M. Hales suppose qu'il s'en est formé une de demi-pouce sur le fond même.

Après tant de raisons & d'expériences qui s'éclairent mutuellement, nous n'hésiterons point à conclurre que la congélation des rivières ne sort pas de la loi générale, qu'elle commence à leurs bords & à leur superficie, & non pas à leur fond.

Je remarquerai en finissant sur la congélation des rivières, que la rivière de Seine qu'on voit assez fréquemment geler d'un bord à l'autre dans des hivers moins rudes que celui de 1709, ne gela pourtant pas entièrement cette année-là; le milieu de son courant demeura toujours libre, du moins à Paris *. La raison la plus vrai-semblable qu'on en donna dans l'Académie des Sciences, fut que les rivières, en général, commencent toujours à se geler par leurs bords, que les grandes, les fleuves, ne se gèlent guère jusqu'au milieu de leur courant que par les glaçons qui y sont amenés de leurs bords, ou qui y tombent des petites rivières, & qu'aucune de ces circonstances ne pût avoir lieu en 1709, parce que le froid y fut si subit & si âpre dès son premier commencement, que les petites rivières qui tombent dans la Seine au dessus de Paris se trouvèrent prises tout-à-coup & entièrement, de sorte que leurs glaçons ne pûrent y être portés, du moins en assez grande quantité, & que les bords de la Seine n'en fournirent pas non plus, par la grandeur & par l'épaisseur des glaçons qui s'y étoient d'abord formés & fortement attachés. La violence même du froid fut cause que la Seine ne gela point entièrement.

* Hist. Acad. 1709, p. 9.

CHAPITRE III.

De l'eau qui ne se gèle pas étant exposée à la gelée , quoiqu'elle y ait acquis plusieurs degrés de froideur au delà de celui de la congélation ordinaire.

OBSERVATIONS ET EXPÉRIENCES.

M. Fahrenheit, célèbre par ses thermomètres , & Membre de la Société Royale de Londres, est le premier, que je sache, qui se soit aperçu de ce phénomène, en voulant faire une autre expérience. Il en donna avis à la Société Royale, & son Mémoire sur ce sujet fut inséré dans les Transactions philosophiques, année 1724, n.º 382.

Il avoit pris une boule creuse de verre d'environ un pouce de diamètre, & qui tenoit à une queue ou à un petit tube de deux ou trois pouces de longueur, avec lequel elle communiquoit, & qui se terminoit en pointe. Il avoit fait chauffer cette boule à diverses reprises, & l'avoit remplie environ à moitié d'eau de pluie, à la manière dont on remplit les éolipyles, en trempant alternativement le tube dans l'eau, & en faisant réchauffer la boule ; après quoi la remettant sur le feu jusqu'à l'ébullition de l'eau, il en avoit chassé l'air contenu dans

l'autre moitié, opération connue dans la Physique expérimentale, & il avoit soudé sur le champ la pointe du tube à la lampe des Emaillieurs.

Il exposa ainsi cette boule & cette eau à la rigueur du froid le 2 Mars 1721, la température de l'air étant alors au 15^{me} degré de son thermomètre, ce qui répond à peu près au milieu du 11^{me} degré de celui de M. de Reaumur, au dessous du point de la congélation; comme je le déduis de la construction que M. Fahrenheit donne là même de son thermomètre, & d'une Table de comparaison de divers thermomètres*, dressée avec soin par feu M. Martine, de la Société Royale de Londres & de celle d'Edimbourg.

Une heure après, M. Fahrenheit ayant regardé à cette boule, fut très-surpris d'y trouver l'eau aussi liquide qu'auparavant; elle l'étoit encore le lendemain matin, quoique le froid fût encore au même degré. Il crut alors devoir attribuer cet effet à l'ab-

* C'est la plus exacte que je connoisse, je l'ai vérifiée avec les thermomètres de M.^{rs} de Reaumur, Amontons, Hauksbée & Fahrenheit même, sur lesquels j'ai vû d'autres Tables qui sont très-fautives. C'est pourquoi je m'en rapporterai à celle-ci dans la suite pour toutes ces réductions. Elle est dans l'*An Essay towards comparing different thermometers* de cet Auteur, imprimé à Londres en 1741, parmi ses autres *Essais de Médecine & de Philosophie*.

sence de l'air ; il cassa la pointe du tube pour ouvrir l'entrée à l'air , & en effet toute la masse de l'eau fut subitement parsemée de petites lames de glace.

Mais ayant répété l'expérience bien des fois & de bien des manières , il se convainquit enfin de l'erreur où il étoit , & il ne douta plus que la seule agitation de l'eau ainsi refroidie ne pût en avoir produit la congélation ; comme le hasard l'en fit apercevoir , & comme l'expérience répétée à ce dessein le lui confirma * , toujours avec de semblables boules de verre à moitié remplies d'eau.

Ces lames de glace formées subitement restoient quelque temps mêlées d'une eau fluide qui en remplissoit les intervalles , & il résultoit, dit-il, de leur assemblage , *comme une crystallisation confuse de certains sels.*

N'oublions pas aussi deux observations importantes qu'il fit en même temps.

L'une , que ces petites lames de glace surnageoient toujours dans l'eau où elles étoient plongées.

L'autre , qu'ayant mis la boule d'un de

* *Hoc autem casu fortuito edocebar, glaciem in aquam Jatis frigida agitatione produci posse, simulque judicii errorem agnoscebam, quòd nempè absentiaë aëris fluiditatem aquæ attribuissem.* Ce cas fortuit ou cet accident n'est autre chose qu'un faux pas qu'il fit en transportant une de ces boules d'un lieu à un autre , & sur le champ toute l'eau en fut glacée, ou remplie de lames de glace.

ses thermomètres dans ce mélange de glace & d'eau, la liqueur ou le mercure du thermomètre remonta jusqu'au 32^{me} degré, c'est-à-dire, à la simple congélation ou zéro du thermomètre de M. de Reaumur.

On trouve encore dans les Transactions philosophiques * une lettre de M. Triewald, Directeur des Mécaniques du Roi de Suède, à M. Sloane, écrite de Stokholm le 4 Avril 1730, dont il résulte ;

Que le 15 Décembre 1729 étant dans une salle qui lui servoit de laboratoire, il prit de dessus une tablette une de ces longues bouteilles remplies d'eau, & recouvertes d'une vessie pleine d'air, dans lesquelles on fait monter & descendre alternativement de petites figures de verre, pour donner une idée de la pression de l'air sur la surface de l'eau :

Que malgré le grand froid qu'il faisoit, il trouva l'eau de cette bouteille parfaitement liquide ;

Mais qu'ayant appuyé la main sur la vessie qui en recouvroit l'orifice, cette eau se convertit en glace dans le moment & dans l'espace d'une seconde.

M. Musschenbroek a fait aussi quelques expériences sur ce sujet avec des carafes remplies d'eau, bien bouchées, & qu'il exposoit pendant la nuit à la gelée. Il retrouvoit le

* Num. 418.

lendemain l'eau toute liquide ; mais dès qu'il débouchoit la carafe , & qu'un nouvel air venoit à frapper la surface de l'eau , il s'y formoit sur le champ une infinité de petites lames de glace (a) ; comme nous avons vû que l'avoit remarqué M. Fahrenheit.

Enfin j'apprends par M. Jallabert , Professeur de Physique expérimentale & de Mathématiques à Genève , que M. Micheli (b) lui mandoit il y a quelques années , que si l'on met le thermomètre dans un cylindre de verre d'environ 1 pouce de diamètre , & de 7 à 8 pouces de longueur , qu'on a rempli d'eau & couvert d'un carton , & que l'on expose ce vase avec le thermomètre à un air parfaitement tranquille , de 11 , 12 , 13 , 14 & même 15 degrés de froid (du thermomètre de M. Micheli) cette eau contractera à la longue ce même degré de froid sans geler , & le thermomètre descendra dans cette eau jusqu'à pareil terme. Pour lors touchez seulement la surface de cette eau avec un fil d'archal que vous aurez frotté de neige ou de glace , & vous verrez se former plusieurs petits fuseaux de glace , & le thermomètre remonter à vûe jusqu'au $10\frac{3}{4}$, c'est-à-dire , à peu près jusqu'au terme de la simple

(a) Atque intra minutum tota aqua lamellis glaciæ implebatur. Additament. ad tentam. exper. Acad. Del cimento.

(b) cité ci-dessus , p. 62.

congélation, comme il a été remarqué dans les expériences de M. Fahrenheit; car la graduation du thermomètre de M. Micheli commence à la température des caves de l'Observatoire, & ainsi ses 10, 11, 12, 13, 14 & 15 degrés en descendant, répondent, à peu près, aux 0, 1, 2, 3, 4 & 5 du thermomètre de M. de Reaumur, aussi en descendant.

M. Jallabert avoit commencé de répéter cette expérience, & d'une manière qui lui est propre, dans le mois de Novembre dernier; mais la douceur du temps, qui succéda bien-tôt à la gelée du 21 & du 22 de ce mois, l'empêcha de poursuivre. Il en fit assez cependant pour se convaincre que de l'eau ainsi exposée à un air tranquille, se refroidit bien au delà de la congélation sans se geler.

CHAPITRE IV.

Suite d'observations & d'expériences sur le même sujet.

J'AUROIS pû me dispenser de mettre la main à l'œuvre après les Observateurs dont je viens de rapporter les expériences; mais ce phénomène m'a paru trop important pour ne pas tâcher de le connoître par moi-même, & de le considérer par

tous les côtés, & de tous les points de vûe qui m'ont paru les plus propres à en dévoiler la cause.

Le 11 Janvier dernier, je mis entre deux chassis sur une fenêtre du Louvre, qui donne sur la cour, & qui est tournée vers l'est-sud-est, tenant au cabinet où je travaille, auprès d'une encoignure où le Soleil d'hiver ne donne point;

Numéro 1. Un verre ordinaire à boire de figure conoïdale, & à peu près parabolique, avec de l'eau de la rivière de Seine, bien limpide, jusqu'à environ trois quarts de pouce de ses bords, & j'achevai de le remplir, à une ou deux lignes près, en versant par-dessus cette eau de l'huile d'olive que j'avois fait un peu chauffer auparavant, pour la fondre & la rendre bien claire. Ce verre ainsi rempli & sans être couvert, fut mis sur un petit quarré de planche de sapin, qui s'appliquoit bien juste sur la tablette de de la fenêtre.

Je choisis cette figure de vaisseau, plutôt que la cylindrique, afin que la gelée venant à arriver, la glace pût remonter, en glissant sur les parois intérieures du verre, sans le faire crever. Tous les verres suivans seront à peu près de la même figure, de la même grandeur que le premier, & chacun de la contenance d'un peu plus de 7 onces d'eau.

N.º 2. Un verre avec même quantité

d'eau & d'huile à côté du premier, mais dans lequel je plongeai la boule d'un petit thermomètre suspendu au dessus, de manière que cette boule occupoit à peu près le centre du conoïde d'eau; la partie supérieure du tube tenant à une monture où la graduation est marquée selon la théorie de M. de Reaumur.

N.º 3. Un verre que j'avois de même rempli d'eau seulement, jusqu'à environ $\frac{3}{4}$ de pouce des bords, & couvert d'un carreau de vitre, qui ne joignoit pas si bien que l'air extérieur ne pût y entrer & l'intérieur en sortir assez librement.

N.º 4. De même.

N.º 5. De même, mais sans le couvrir.

N.º 6. Avec la même quantité d'eau, & un demi-pouce d'huile de lin par-dessus: huile qui ne gèle presque jamais, & que je choisis ainsi par préférence, & en opposition à celle d'olive.

N.º 7. Et enfin un septième avec la même quantité d'eau, l'air au dessus & couvert d'un carreau de vitre que j'avois bien mastiqué sur ses bords avec de la cire; de manière que l'air intérieur & extérieur ne pouvoient que difficilement communiquer l'un avec l'autre. Pour cela, j'avois étendu une couronne de cire de deux ou trois lignes d'épaisseur sur le carreau que j'avois fait chauffer ensuite jusqu'à la mollesse de la

cire, & je l'avois appliqué sur les bords du verre, en le pressant un peu contre.

Tous ces vaisseaux ainsi disposés, & rangés dans cet ordre sur la tablette de la fenêtre, je suspendis intérieurement à la croisée de bois du châssis extérieur, & à la hauteur des vaisseaux, un thermomètre tout semblable à celui du n.^o 2, & dont la marche est sensiblement la même *. La liqueur ou le mercure en étoit alors à 5 ou 6 degrés au dessus de la congélation. Après quoi je fermai le châssis intérieur, pour ne l'ouvrir que lorsque l'expérience ou les observations le requerroient.

I^{re} Observation. Le temps ayant toujours été depuis autour de cette température, avec de grands vents, des pluies fréquentes, & de grands baiffemens du baromètre, jusqu'au 7 Février, le froid arriva rapidement vers les 9 à 10 heures du matin du même jour. A midi le thermomètre suspendu au châssis étoit descendu à 0 ou à la congélation, & le soir vers les neuf heures à 2

* Ces deux thermomètres sont à mercure; la boule n'en a qu'environ un demi-pouce de diamètre, & le tube n'a pas intérieurement un quart de ligne. Ils peuvent marquer depuis le 18^{me} degré de froid au delà de la congélation ou au dessous de 0, jusqu'à l'eau bouillante, ou 82 degrés de chaleur au dessus de 0. La monture en est brisée par une charnière à 2 pouces au dessus de la boule. C'est ainsi que le premier de ces thermomètres étoit plongé dans l'eau n.^o 2.

degrés au dessous, le thermomètre du n.^o 2 suivant à peu près la même marche, comme il fit presque toujours dans la suite, à un demi-degré plus ou moins près. L'eau du n.^o 5 n'étoit pas encore gelée.

2^{me} *Obs.* A 11 heures du soir le thermomètre étant encore descendu d'un degré c'est-à-dire, à 3 au dessous de 0, l'eau du n.^o 5 étoit gelée à sa superficie & un peu auprès des parois du verre.

3^{me} *Obs.* Le 8 à 7 heures du matin, le thermomètre étant à 4 degrés au dessous de 0, l'eau du n.^o 5 étoit tout-à-fait prise, & d'une glace transparente. Aucun de tous les autres vaisseaux, si l'on en excepte l'huile d'olive, qui étoit figée depuis plusieurs jours, ne montra la moindre apparence de glace, & il n'y avoit encore rien de glacé dans tous ces vaisseaux à une heure après midi. Mais étant revenu chez moi vers les huit heures & demie du soir, j'aperçus plusieurs lames de glace dans l'eau du n.^o 7, qui étoit couvert du carreau mastiqué, tandis que celle des n.^{os} 3 & 4, où l'air pouvoit aisément communiquer entre le carreau & les bords du verre, étoit dans une parfaite liquidité*.

* Ces expressions, *dans une*, ou *dans sa parfaite liquidité*, *dans toute sa liquidité*, & semblables, ne doivent pas être prises ici exclusivement, comme si l'eau n'étoit pas susceptible d'une plus grande liquidité ou

4^{me} *Obs.* J'aperçus aussi avec la même surprise, que l'eau du n.^o 6, qui étoit couverte de l'huile de lin, commençoit à se parfemer de pareilles lames de glace; car c'étoit à ces deux vaisseaux (n.^{os} 6 & 7,) que j'avois cru que la congélation devoit arriver le plus tard. Vers les 11 heures du soir ces lames en avoient rendu toute l'eau aussi opaque que l'avoit été auparavant celle du n.^o 7, laquelle en achevant de se geler avoit acquis la transparence ordinaire de la glace. Le thermomètre de la croisée étoit alors à $4\frac{1}{2}$ degrés au dessous du point de la congélation, & celui du n.^o 2 suivoit toujours à peu près la même marche.

5^{me} *Obs.* Le 9 à 7 heures du matin, le thermomètre de la croisée étoit à environ $4\frac{3}{4}$, celui du n.^o 2 à 5, & tout le reste comme ci-dessus, excepté que les glaces formées de la veille étoient devenues plus transparentes, dans l'ordre de leur formation, & que j'y remarquai quelques bulles dont elles m'avoient paru tout-à-fait exemptes: l'eau des n.^{os} 1, 2, 3 & 4, se soutenant

fluidité que celle qu'elle a en cet état. Car en rigueur la fluidité des liquides, ou d'un même liquide dans ses différens états, doit être, toutes choses d'ailleurs égales, en raison inverse des densités ou des pesanteurs spécifiques actuelles. Or l'eau froide est plus dense & plus pesante que l'eau chaude; donc, &c. ce que les expériences justifient. *Hist. Acad.* 1741, p. 14 & 17.

parfaitement

parfaitement dans sa liquidité. D'autres thermomètres que ceux de l'expérience, & qui étoient exposés au grand air, étoient descendus dans cette même matinée ou pendant la nuit, jusqu'à près de 7 degrés.

Cependant le mercure qui étoit en descente dans le baromètre, & quelques autres signes, me faisant craindre, non sans fondement, que le temps ne vint à s'adoucir, je ne voulus point différer à tirer parti de ces quatre vaisseaux exempts de glace, pour en faire les épreuves suivantes.

6^{me} Obs. J'ouvris donc le chassis intérieur vers les 8 à 9 heures du matin. J'appuyai les doigts d'une main sur la patte du verre n.^o 1, en la pressant contre la planche, & de l'autre je frappai assez rudement & à coups redoublés avec une clef sur cette planche. Au 12 ou 15^{me} coup je vis toute l'eau de ce verre au dessous de l'huile, & jusqu'au fond se parsemer de lames de glace diversement inclinées, & devenir opaque; ce qui alla en augmentant pendant quelques minutes, tout le reste de l'eau entre ces lames me paroissant encore liquide. Mais ayant enlevé l'huile figée qui étoit au dessus, avec une cuillier à café d'argent, toute l'eau se prit, à la réserve de quelques gouttes qui restoit liquides, & qui coulèrent du bloc de glace hérissé de pointes: elles se gelèrent aussi dans l'instant, & 15



ou 20 minutes après, le bloc de glace étoit parfaitement solide, tant intérieurement qu'extérieurement, comme il étoit aisé de voir par sa transparence.

7^{me} *Obs.* A l'égard du n.º 2, chargé aussi d'huile d'olive, & ayant de plus un thermomètre dont la boule plongeoit jusqu'au milieu de l'eau, je craignis qu'en frappant sur le carré de planche qui le soulenoit, & que l'eau venant à geler, le tube grêle & fragile du thermomètre ne cassât. C'est pourquoy, & pour varier l'expérience, je me contentai de le soulever doucement & verticalement pour diviser l'eau, & pour faire un trou à l'huile figée qui étoit au dessus. La boule n'étoit pas encore hors de cette huile, que je vis les petites lames de glace se former dans l'eau, & la rendre opaque, ainsi qu'il étoit arrivé au n.º 1. J'y replongeai sur le champ ce thermomètre, & je vis sensiblement monter le mercure dans le tube à mesure que la glace achevoit de se former. Il étoit remonté de 3 degrés, & il se trouvoit par conséquent à 2 degrés au dessous du point de la congélation lorsque je jugeai à propos de le retirer, 1º pour ne pas risquer de le faire casser dans la glace, 2º parce que l'expérience de M^{rs} Fahrenheit & Micheli me parut suffisamment confirmée par-là.

8^{me} *Obs.* J'en vins au verre du n.º 3. Je

ne fis que l'agiter, en le tenant à la main & en frappant du coude contre la fenêtre; les lames de glace s'y formèrent sur le champ, toute la partie du verre qui contenoit l'eau devint opaque, &c. comme dans les précédens.

9^{me} *Obs.* J'arrachai cette glace du verre, en cet état, c'est-à-dire, lorsqu'elle ne faisoit encore qu'un grumeau de glaçons tout hérissé de pointes, je le plongeai dans une cuvette pleine d'eau, que j'avois mise à côté de moi tout exprès, & il y furnagea: épreuve dont j'étois d'autant plus curieux, que dans les expériences de M. Fahrenheit elle n'avoit été faite qu'avec de la glace formée dans le vuide, & que je ne savois pas s'il avoit eu la précaution d'en détacher les lames des parois intérieures du verre, où il n'étoit pas impossible qu'elles ne fussent un peu adhérentes.

10^{me} *Obs.* Restoit le n.º 4. J'en ôtai doucement le carreau de vitre qui le couvroit, & j'en touchai la superficie de l'eau avec la pointe d'un tronçon de glace ordinaire. La promptitude avec laquelle les petites lames s'y formèrent & rendirent toute la masse de l'eau opaque, depuis le point du contact jusqu'au fond du verre & tout autour, ne peut être mieux comparée qu'à celle de la poudre à canon qui prend feu.

11^{me} *Obs.* Toutes ces glaces, comme je l'ai déjà dit, devenoient de plus en plus

solides & transparentes, l'eau qui se trouvoit d'abord mêlée entre les petites lames par où elle commençoit à se former, se glaçant avec elles & ne faisant plus qu'un tissu sensiblement uniforme. Les bulles d'air y naissoient quelques heures après, & se trouvoient le lendemain plus grosses & plus nombreuses.

12^{me} Obs. Plusieurs de ces bulles dans les verres des jours précédens, & d'où je n'avois point ôté la glace, avoient pris la forme de larmes, dont la tête étoit tournée à peu près vers l'axe du conoïde ou du vase, & la queue vers ses parois.

CHAPITRE V.

Réflexions sur les observations & les expériences précédentes.

ON voit d'abord bien certainement que l'eau peut être de bien des degrés plus froide au delà de celui qui produit la congélation ordinaire, sans se geler.

Que la cause la plus vrai-semblable & la plus prochaine de cet effet, est le *repos de masse* de l'eau, c'est-à-dire, le repos sensible, ou des parties sensibles qui la composent, lequel il faut bien distinguer du repos de ses parties intégrantes.

Qu'un semblable repos de masse de l'air qui touche à la surface de l'eau, ou le séjour

du même air avec lequel elle se trouve exposée à la gelée, produit à peu près le même effet, ou y contribue.

Et enfin que ces deux causes semblent quelquefois agir l'une sans l'autre, & quelquefois l'une avec l'autre.

Car voilà en général ce qu'on peut recueillir de toutes les observations & de toutes les expériences des deux chapitres précédens.

La première de ces deux causes nous est indiquée par son contraire, le mouvement & l'agitation du liquide, qui le font convertir en glace presque en un instant.

La seconde par le changement d'air, par l'introduction d'un nouvel air, qui produit aussi cet effet; soit que cet air prenne la place de celui qui séjournoit sur le liquide, soit par l'introduction subite d'un air quelconque à la place du vuide parfait ou imparfait sous lequel l'eau étoit auparavant; comme on l'a vû dans les expériences de M. Fahrenheit.

Mais il y a cette différence entre ces deux causes de la prompte congélation d'une eau très-froide, que la première agit indépendamment de la seconde, & que celle-ci, dans la supposition qu'elle agit aussi par elle-même, ne peut pourtant avoir lieu sans que l'autre ne s'y mêle; puisqu'un nouvel air ne sauroit être introduit sur le liquide, ou à la place du vuide, sans causer quelque

agitation, quelque légère ondulation dans le liquide. Et c'est encore le cas d'un même air poussé ou comprimé contre la surface de l'eau, comme dans l'observation de M. Triewald.

Or on ne peut pas dire réciproquement qu'il ne se fait point d'agitation sans introduction d'un nouvel air, puisque dans les dernières expériences de M. Fahrenheit, dans quelques-unes des nôtres, & sur-tout dans celle du n.^o 1, *Obs.* 6, il n'y a certainement point de nouvel air introduit.

Le contact d'un corps étranger, d'un fil d'archal frotté de neige ou de glace, ou de la glace même, avec le liquide, produit encore le même effet que l'agitation & le nouvel air, & se trouve aussi compliqué avec les deux.

Je ne doute pas cependant qu'abstraction faite de tout le reste, l'application d'un nouvel air à la surface de l'eau, le contact d'un corps étranger quelconque, & sur-tout d'un morceau de glace, ne puissent, dans le cas posé, y produire subitement la congélation.

Mais avant que d'entrer là-dessus dans un plus grand détail, voyons comment le repos de masse peut conserver à l'eau sa liquidité, malgré le degré de froideur acquise, & bien au delà de celui qui la lui ôte ordinairement.

Nous avons remarqué dans le premier Chapitre de la première Section *, que la matière subtile devoit se mouvoir avec plus de liberté, conserver ou acquérir plus d'activité & de ressort dans la glace, que dans l'eau dont cette glace venoit de se former, & nous en avons donné la raison. C'est que la matière subtile ne trouve plus les mêmes obstacles à vaincre dans des canaux devenus solides ; rien ne s'y met plus à la traverse, toutes les parties intégrantes de l'eau y sont fixes & immobiles, il ne s'y fait plus d'interruptions, ils ne varient plus, l'équilibre, la correspondance de mouvement & de ressort de cette matière avec celle du dehors, n'y sont plus troublés, comme ils l'étoient sans cesse pendant la liquidité.

Or un long repos de masse, & selon qu'il est plus parfait, dans les parties du liquide, y doit produire quelque chose d'équivalent. Il doit y faire naître, toutes proportions gardées, cette espèce d'équilibre & de mouvemens réglés & périodiques entre les parties intégrantes de l'eau, la

* Pages 105 & 106, où il semble que j'aie voulu préparer l'explication que je donne aujourd'hui de ce phénomène ; tant il est analogue à mes principes ! Mais on trouvera la même théorie, & en mêmes termes, dans les deux premières éditions, c'est-à-dire, en un temps où ce phénomène étoit inconnu, & dans la troisième, où je l'ignorois encore. *Voy. édit. de Bourdeaux, p. 50 ; de Béziers, p. 72 ; & de Paris, p. 584.*

matière subtile intérieure , & celle du dehors. Tout s'y meut encore , il est vrai , mais tout s'y meut dans le même ordre , dans des routes plus frayées , plus longues même , & moins tortueuses , & sur-tout plus constantes : car tout fluide actif qui coule dans des canaux tortueux & flexibles , doit tendre sans cesse à les alonger & à les redresser. Le refroidissement de la gelée , quelque prompt qu'elle soit , n'arrive que par degrés insensibles à chaque instant , & le resserrement qu'elle produit sur ces canaux ne s'y fait aussi que par degrés insensibles , sans y détruire la continuité que l'équilibre & la correspondance de mouvemens entre les parties intégrantes du liquide & la matière subtile intérieure y entretenoient. Ainsi la masse totale & immobile du liquide qui aura pû acquérir cet état , résistera à une gelée plus forte de plusieurs degrés , que n'en exige communément la simple congélation , sans perdre sa liquidité. Toujours environné des mêmes matières ou du même air , il est à cet égard dans le cas du feu caché sous la cendre.

Mais vient-on à rompre cet équilibre , cet accord de mouvemens réciproques , par la destruction , par l'accourcissement , par la flexion , & par la subdivision continuelle des canaux où le fluide éthéré couloit auparavant dans le liquide ? Tout y va subir

le trouble que nous avons décrit, en expliquant la formation de la glace dans ses commencemens, l'agitation intestine, une espèce de fermentation, le développement du ressort de l'air, le redressement des parties de l'eau qui en auront eu le temps ou la liberté, & tout de suite l'engourdissement, & enfin la congélation; d'abord sur les endroits du liquide où l'uniformité de mouvemens étoit moins parfaite, par des filets ou de petites lames, & bien-tôt par sa conversion totale en un bloc solide de glace. C'est-là, à mon avis, ce que produit l'agitation des parties sensibles du liquide, lorsqu'elle succède à son repos de masse pendant la gelée, & avec d'autant plus de rapidité que cette gelée étoit plus forte.

C'est le même mécanisme par rapport à l'introduction d'un nouvel air sur le liquide; mais outre le mouvement de masse qu'il y occasionne, ses effets tiennent encore à une autre circonstance. Nous avons remarqué à l'occasion d'un autre phénomène *, que la matière subtile ou éthérée qui pénètre différentes substances, s'y meut différemment, & facilite, entretient, ou empêche leurs adhésions, leurs attractions, ou leurs répulsions réciproques, à raison de son cours homogène ou hétérogène: à peu près comme la matière quelconque qu'on nomme

* *Ci-dessus, p. 110, édit. de Bourd. p. 54.*

magnétique, fait que deux pierres d'aimant s'unissent ou se repoussent, selon qu'elles sont présentées par l'un ou l'autre de leurs poles. Ainsi une eau tranquille dont la matière éthérée intérieure a eu le temps de s'unir par des mouvemens semblables, ou de se mettre en équilibre par des mouvemens contraires, avec celle de l'air ambiant qui touche à sa surface & qui est toujours le même, doit se maintenir plus long-temps dans son état de liquidité, que celle où un nouvel air vient frapper & interrompre l'ordre de ces mouvemens.

Un semblable effet sera encore plus sensible dans le cas du n.^o 4, *Obs. 10*, où l'on touche la surface de l'eau avec un morceau de glace. Car, comme nous l'avons observé, la matière subtile se meut avec plus de liberté dans la glace que dans l'eau, & sur-tout que dans l'eau déjà resserrée par un grand froid; & de plus, tout fluide qui se meut dans des canaux étroits, dans un liquide ou dans un solide quelconques, doit s'en échapper par le côté où il trouve plus de liberté & moins de résistance. Donc la matière subtile ou éthérée qui étoit renfermée dans cette eau, doit passer à l'instant dans la glace dont on la touche; c'est une issue qu'on lui présente, une espèce de pompe qu'on y applique. Or en abandonnant cette eau, déjà plus froide qu'elle n'avoit besoin

de l'être pour la congélation ordinaire, & que cette matière entretenoit pourtant dans son état de liquidité, en vertu du repos de masse & de l'équilibre acquis avec la matière subtile extérieure, il faut nécessairement que cet équilibre soit rompu, & que la congélation s'en ensuive; & tout cela avec d'autant plus de rapidité que la froideur étoit plus grande, & abstraction faite de la solution de continuité qui s'y complique.

Nous ne sommes peut-être pas à portée dans ce climat de déterminer jusqu'à quel degré de froideur l'eau peut conserver ainsi sa liquidité. C'est une expérience à faire dans des pays plus près du Pole. On l'a vue liquide ci-dessus au 5^{me} degré de plus que la simple congélation, & il suit des expériences de M. Fahrenheit, qu'elle le peut être encore au 11^{me}, c'est-à-dire, au degré de nos plus fortes gelées & que nous passons rarement dans le climat de Paris.

Le repos acquis dans l'eau du n.^o 5, *Obs.* 1, quoiqu'à découvert, & à 2 degrés de froid, en a empêché la congélation pendant plusieurs heures de gelée.

L'huile de lin au dessus de l'eau, n.^o 6, *Obs.* 4, en a favorisé la liquidité pendant un plus long intervalle, & un plus grand froid, parce qu'elle en a mieux défendu la surface contre les accidens tels que de petites agitations de l'air, malgré la clôture des deux

chassis, & des grains de sable ou de poussière qui pouvoient y tomber du haut de la fenêtre; mais cette eau a enfin gelé, tandis que celle qui étoit couverte d'huile d'olive a persévéré dans sa parfaite liquidité avec un froid plus rude.

En général la nature des matières ambiantes à l'égard de l'eau mise en expérience, me paroît ne devoir pas être négligée ici, & je mets au nombre de mes omissions, de n'y avoir pas employé, outre les sept vaisseaux de verre, du bois, de la pierre, du métal, de la cire, de la résine, &c. & même de n'avoir pas présenté à l'eau dans son extrême refroidissement, & sans la toucher, une bonne pierre d'aimant & le tube électrique. Je devois cependant commencer par le verre, pour voir ce qui se passoit dedans, & aussi par son affinité avec l'eau *.

Il faudroit aussi s'éclaircir sur deux autres faits que je ne suis plus à temps de vérifier, savoir,

1° Si une matière quelconque avec laquelle on rompra le tissu de l'eau à sa superficie, selon que cette matière sera plus ou moins analogue au verre, à la glace ou à l'eau, ne produiroit point la congélation subite. La condition que M. Micheli met au fil d'archal dont il la touche, qu'il soit frotté de glace ou de neige, semble supposer qu'il en ait fait

* Page 109. *Sup.*

l'épreuve sans cette préparation : mais je suis fort trompé si lorsque l'eau aura atteint à peu près le dernier degré de froideur dont elle est susceptible sans se geler, tout corps qui la divisera ou l'agitera le moins du monde ne fera pas quelque chose de semblable, quoique peut-être moins promptement.

2° Ce qui en arriveroit de l'épreuve suivante. Soit pris un vaisseau cylindrique de verre, par exemple, de 4 à 5 pouces de diamètre & d'autant de hauteur, qui ait à son milieu ou autour de son axe un autre vaisseau cylindrique de même matière, de même hauteur, & d'un pouce de diamètre, fixement attaché ou soudé à son fond. Soit la capacité du grand cylindre, entre ses bords & ceux du petit cylindre, remplie d'eau jusqu'à environ trois quarts de pouce de ses bords, & cette eau couverte d'un demi-pouce d'huile d'olive, comme il a été pratiqué ci-dessus n.° 1 dans le verre, le petit cylindre du milieu demeurant vuide; & soit enfin le tout exposé à la gelée prochaine, avec les précautions & dans des circonstances à peu près semblables à celles qui sont énoncées avant ce n.° & dans ce n°. Si, conformément aux observations précédentes, cette eau parvient à 3, 4 ou 5 degrés, &c. de froideur au delà du terme de la congélation, sans se geler, & qu'on verse dans le petit cylindre intérieur, & jusqu'à la surface

de l'eau du grand cylindre, de l'eau moins froide que la glace, celle-ci ne devra-t-elle pas s'y geler? n'est-ce pas le cas de la congélation artificielle par le mélange de sel & de glace autour d'une bouteille? Que si l'eau glacée dans le petit cylindre communique ensuite son état à celle du grand par l'affinité ou l'homogénéité de mouvemens de la matière éthérée dans la glace, dans le verre & dans l'eau, dont nous avons déjà parlé plusieurs fois, ne sera-ce pas encore un phénomène très-curieux à observer?

Quant au mauvais succès du n.^o 7, *Obs.* 3, je conjecture qu'il vient de ce qu'ayant chauffé le carreau de vitre qui en couvroit le vaisseau pour le faire joindre avec les bords du verre par le moyen de la cire, l'air du dessous y a été d'abord considérablement raréfié, & y a laissé une espèce de vuide jusqu'à la gelée, qui, augmentant de plus en plus l'effort de l'air extérieur pour y entrer, lui aura donné lieu de s'y faire jour par quelque endroit foible de la cire, ou par l'endroit qui joignoit le moins bien; d'où sera survenue une irruption d'air, comme dans les expériences de M. Fahrenheit, lorsqu'il caissoit la queue de son petit ballon de verre.

Les petites lames de glace qui se forment subitement depuis la superficie de l'eau jusqu'au fond, confirment ce que nous avons observé, que la congélation commence par

des filets, par de petites lames comme de canif (a), & que les parties de l'eau qui se gèlent, tendent à s'assembler sur un plan (b). Et ce que nous avons ajoûté, que la congélation commence toujours par les bords & par la surface de l'eau, n'est nullement détruit par cette congélation subite, qui parcourt toute la masse du liquide depuis sa superficie jusqu'au fond du vaisseau, & toutes ses parois intérieures, selon que l'agitation ou l'équilibre rompu commence par quelqu'une de ces parties. Car il est clair que dans le cas de la congélation ordinaire, l'eau n'étant pas encore au degré de froideur de la congélation avant que de se geler, la congélation doit commencer par les premières de ses parties qui ont acquis ce degré de froideur, c'est-à-dire, par les bords, par la surface supérieure, ou par les parties quelconques que l'air extérieur de la gelée vient à frapper les premières, & passer de-là à toutes les autres, plus ou moins promptement, selon que la gelée est plus ou moins prompte & plus ou moins forte : ce qui ne doit pas avoir lieu à l'égard d'une eau qui se trouve déjà, depuis plusieurs heures ou plusieurs jours, uniformément plus froide dans toute sa masse, que ne l'exigeoit la congélation.

Enfin, pour ne pas grossir inutilement

(a) Page 108.

(b) Page 165.

ces remarques, il faut saisir ici, comme en toute autre rencontre, ce qu'il y a de plus général & de mieux constaté sur le phénomène en question, & bien distinguer entre toutes les expériences & les observations qui concourent à le décrire & à l'éclaircir, celles que le hasard seul a fournies, & où l'Observateur n'a souvent ni vu, ni songé à voir ce qu'il y avoit de plus essentiel, d'avec celles qui ont été faites avec dessein & prévoyance.

CHAPITRE VI.

Si l'eau peut quelquefois se geler dans tout un pays par un air moins froid que celui de la congélation ordinaire.

CE phénomène, que quelques Physiciens regardent comme certain, me paroît cependant susceptible de bien des doutes & des distinctions.

Il ne sauroit être l'inverse de celui que nous venons d'examiner, que dans des circonstances égales ou équivalentes, dans le cas où l'eau qui se gèle ne se geleroit pas, s'il ne lui survenoit quelque accident, quelque modification nouvelle, indépendamment de la température actuelle de l'air extérieur.

Puisque dans le phénomène précédent l'eau ne demeure liquide, quoiqu'exposée

à la gelée, qu'en vertu du mouvement & de l'équilibre entretenus dans la matière subtile intérieure qui fait sa liquidité, il faut ici au contraire que le mouvement de ce fluide, de ce feu élémentaire intérieur, se trouve ralenti, & son équilibre rompu avec la matière subtile extérieure, par quelque cause extraordinaire & accidentelle.

Car si cette eau différoit réellement par elle-même, dans ses principes ou dans sa contexture, de celle que nous voyons toujours se geler au degré de froid indiqué sur nos thermomètres pour la congélation, comme il pourroit arriver en différens pays, & par quelque circonstance locale, ce seroient alors deux liquides différens, & il n'y auroit pas de quoi être surpris que l'un se glaçât à un air où l'autre conserveroit toute sa liquidité.

Il faut donc soigneusement distinguer, sur la question présente, la congélation accidentelle de l'eau dans le même pays & le même lieu où elle a coutume de demeurer liquide par le même degré de froid, d'avec la congélation constante de l'eau dans un autre pays ou dans un autre lieu, par le même degré de froid où communément elle demeure liquide dans la plupart des pays.

Examinons d'abord le premier de ces deux cas, celui où il survient quelque accident particulier à cette eau qui se gèle, quoique

la température de l'air ne soit pas à la congélation.

Je ne tiendrai point compte de plusieurs petites irrégularités, qui ne roulent que sur un degré de plus ou de moins de froid ou de chaud indiqué sur le thermomètre. Car mille accidens, le lieu, l'exposition à tel ou tel vent, ou à l'air calme, le mur, l'arbre ou le terrain, contre lequel l'instrument est appuyé, ou qu'il avoisine, & qui a plus ou moins retenu de la température des jours précédens, la matière, l'endroit, la forme ou la grandeur du vaisseau où repose l'eau qu'on observe, & une infinité d'autres circonstances, peuvent produire toutes ces irrégularités & de plus grandes, sans qu'on soit toujours en état de s'en apercevoir. Cependant je puis dire que je n'ai guère rien vû arriver à la congélation dans ce genre, dont je ne me sois donné raison par un léger examen.

Nous ne devons donc nous arrêter qu'aux cas où l'irrégularité est plus marquée.

Mais je prends garde, qu'il faut faire encore ici une distinction importante, savoir, sur la température de l'air d'où l'on part, & si le temps va du chaud au froid, du temps doux à la gelée, ou au contraire, du froid au chaud & de la gelée au dégel : car cette circonstance est très-capable d'influer sur toutes ces exceptions.

Je ne vois pas qu'on en ait observé de considérable dans le premier cas, où l'on va du temps doux à la gelée; du moins il ne s'en est point présenté à moi que je ne puisse ramener à quelque une ou à plusieurs des causes accidentelles dont j'ai fait mention ci-dessus.

Reste le cas où l'on va de la gelée au dégel, où l'eau demeure encore gelée, quoique le temps soit fort adouci, où elle ne se dégèle pas à un degré de chaleur indiqué par le thermomètre, qui se trouve fort au dessus du terme de la congélation, & d'où en effet la liqueur descend toujours pour aller à la congélation & à la gelée.

Mais je voudrois encore savoir, si ceux qui nous rapportent ce phénomène prennent pour une véritable fonte de la glace une simple sueur presque imperceptible, ou s'ils exigent que l'eau ruisselle visiblement de dessus la pièce de glace: car j'ai vu bien des fois au commencement du dégel, de ces sueurs se maintenir plusieurs heures & un jour entier, avant que d'aboutir au *ruissellement*, & donner au thermomètre le temps de monter à deux ou trois degrés au dessus de la congélation, avant que le dégel fût plus sensible.

On ne peut douter que la promptitude ou la lenteur des dégels n'apporte quelquefois ici des différences assez marquées;

mais prenant les choses à la rigueur, je dis que le phénomène suit, en général, de ce que nous observerons & que nous tâcherons d'expliquer en son lieu, savoir, que la liquidité détruite dans l'eau qui s'est glacée, est beaucoup plus long-temps à se rétablir qu'elle n'en a été à se détruire.

Il peut, sans doute, y avoir quelques exceptions & quelques variétés de temps & de quantité dans ces rétablissements. *J'ai souvent remarqué en hiver, dit M. Musschenbroek (a), non seulement pendant une année, mais encore pendant plusieurs, & même presque toutes les années, que lorsqu'il commençoit à geler, le mercure se trouvoit dans le thermomètre au 32 degré, c'est-à-dire, au terme de la congélation (b), & que la gelée ne laissoit pourtant pas de continuer, quoique le mercure de ce thermomètre s'élevât jusqu'au 36 degré, & qu'il montât même jusqu'au 41 degré, au lieu qu'il dégèle ordinairement quand le mercure se trouve au 33 degré, & qu'il dégèle même fortement quand il s'est élevé jusqu'au 36 & 40 degré. Voilà l'exception à l'ordre général, la glace ne fond pas quelquefois lorsque le thermomètre monte de la gelée au 36^{me} & même jusqu'au 41^{me} degré, quoiqu'elle commence d'ordinaire à se*

(a) *Essai de Physique*, p. 445.

(b) Comme au thermomètre de Fahrenheit, *sup.* p. 207.

fondre lorsque le mercure du thermomètre est remonté au 33^{me} degré, & à se fondre *fortement*, lorsqu'il arrive au 36^{me} & au 40^{me}. Cet intervalle de 33 à 40 ou à 41, répond à environ 3 degrés du thermomètre de M. de Reaumur.

Sur quoi je remarque que cet habile Observateur ne dit pas qu'il ait jamais vû l'eau se glacer avant que la température de l'air arrivât du temps doux à la gelée, lorsque le thermomètre n'est encore descendu qu'au 41^{me} ou au 36^{me}; mais seulement qu'il l'a vûe encore glacée, ou ne se pas dégeler, lorsqu'après la gelée le temps s'adoucissoit jusqu'à ces degrés de chaleur: ce qui confirme & la distinction que j'en ai faite ci-dessus, & la cause générale que j'en ai assignée.

Or si c'étoit autre chose que l'absence ou l'affoiblissement de la matière subtile ou ignée qui produisît la congélation de l'eau, si c'étoient des *corpuscules frigorigiques* quelconques qui s'introduisissent dans l'eau sans s'introduire dans l'air, & sans faire baisser le thermomètre, comme quelques Auteurs qui insistent sur ces exceptions le prétendent pourquoi ces exceptions n'auroient-elles pas lieu, lorsque le temps va du chaud au froid avant la gelée & avant que l'eau eût gelé aussi-bien qu'après, & en allant de la gelée au dégel? Ces gelées subites qui arrivent dans

certain pays par les corpuscules nitreux & salins qui se répandent tout à coup dans l'air, se font également sentir, & dans l'air & dans les eaux, & sur les hommes & sur le thermomètre; ce n'est même vrai-semblablement que par l'air & par tous les milieux d'alentour qu'ils agissent sur les eaux; comme nous l'avons expliqué dans la première partie.

Mais enfin, dira-t-on, d'où viennent donc ces cas irréguliers dont il s'agit? Voilà, je l'avoue, ce que je ne dirai pas exactement, ne les ayant jamais observés dans cet esprit, ou plutôt les ayant toujours cru devoir attribuer à quelque une des circonstances dont j'ai parlé, ou à la complication de ces circonstances, ou à la cause, l'espèce, l'intensité ou la durée de la gelée qui a précédé, selon qu'elle étoit elle-même l'effet de quelque une des causes générales ou particulières que j'ai décrites dans la première partie, & en même temps à la cause, à l'espèce du dégel, & aux circonstances qui l'accompagnoient.

On verra encore mieux dans la suite combien tout ceci est plein d'équivoques & de faits admis sans preuve.

CHAPITRE VII.

Suite du même sujet ; examen du second cas , savoir, si l'eau se gèle constamment dans quelques pays par un degré de froid beaucoup moindre que celui de la congélation ordinaire indiqué sur nos thermomètres.

ON a souvent allégué ce fait indistinctement avec les précédens , & l'on en a tiré les mêmes conséquences en faveur des corpuscules frigorigènes , sans s'apercevoir qu'il étoit d'une toute autre classe , & sans se rendre trop difficile sur sa réalité. Il est clair cependant , qu'on n'en pouvoit conclure autre chose , sinon que l'eau des pays où il auroit lieu devoit être d'une constitution différente de celle de nos climats , & , quoi qu'il en soit , que la cause générale de la congélation , non plus que celle de la liquidité , n'en sauroient recevoir la moindre atteinte. Car où seroit l'inconvénient , que la même cause eût plus ou moins d'activité à raison des pays & des climats où elle s'exerce , comme elle en a peut-être dans différentes planètes du tourbillon solaire , sur les liquides & sur les solides qui les composent ,

à raison de leur éloignement du Soleil, & de leur structure particulière ?

Il ne seroit donc pas surprenant que le terme de la congélation variât, suivant les différentes contrées, les différens climats, & même selon certaine loi, de manière, par exemple, qu'il fallût plus ou moins de froid pour convertir l'eau en glace dans un pays que dans l'autre, selon qu'il seroit plus ou moins près du pôle. Il n'y auroit rien là qui fût absolument contraire à nos principes ; mais contraire ou non, il faut du moins que l'exception en soit bien constatée.

La plus fameuse observation qu'on apporte sur ce sujet, &, je crois, la seule qui fût concluante, est celle de M. Cyrillo, Professeur de Médecine à Naples. Les nouvelles littéraires l'annoncent avec confiance. *Voici, dit-on, une expérience faite à Naples avec le thermomètre de Londres du fameux Hauksbée, & communiquée à l'Académie Galilienne par le Médecin Cyrillo. La Table Angloise marque la glace au degré 65 ; à Naples la glace se forme constamment au degré 55, plus ou moins. Cela prouve qu'il faut encore autre chose que le froid pour former la glace ; ce qui est, ajoûte le Journaliste, une chose très-connue* *. Des Physiciens distingués, tels

* Journ. Hist. de la Rép. des Lettres, To. 2, p. 288, an. 1733.

que M. Musschenbroek (a) & autres la citent & s'en servent dans le même esprit ; & elle est rapportée en plusieurs endroits des Transactions Philosophiques (b) de la Société Royale à qui M. Cyrillo l'envoya, après l'avoir répétée, comme il l'assure, pendant plusieurs années. Mais il est bon de voir comment M. Cyrillo lui-même s'en explique dans le n.º 430 des Transactions.

» Le plus grand froid de l'année dernière (1731) & du commencement de celle-ci (1732) a été observé, lorsque la liqueur du thermomètre descendoit au 56^{me} & 57^{me} degré, temps auquel on voyoit de la neige sur les montagnes, & où il geloit dans la ville. De même au mois de Décembre suivant, lorsqu'on a vû de la glace, le thermomètre étoit descendu à 55 & 56: sur quoi il faut remarquer qu'à la Table ou *Echelle* du thermomètre d'Hauksbée, le signe de la gelée, en Anglois *Frost*, est indiqué au 65^{me} degré. Mais par les observations que je fais depuis plusieurs années, j'ai trouvé que la glace se formoit lorsque la liqueur de ce thermomètre, qui m'a été envoyé de Londres, descendoit seulement au 55^{me}. D'où l'on ne peut nier qu'il ne faille un moindre froid pour

(a) *Essai de Physique*, p. 445.

(b) Voy. les num. 424, 430, 434, 435, &c.

» la formation de la glace à Naples qu'à Londres. »

Qui ne croiroit, en voyant un fait si bien circonftancié, admis par tant d'habiles gens, employé à détruire les idées les plus reçues fur la congélation de l'eau, & pour établir une hypothèse qui n'est rien moins que lumineuse, que c'est un des plus certains de la Physique moderne ? Nous allons montrer cependant combien il est équivoque, pour ne rien dire de plus.

Feu M. Martine, de la Société Royale de Londres, & de celle d'E'dimbourg, ayant passé à Paris en 1739, me communiqua quelques articles d'un excellent Traité auquel il travailloit sur la théorie & la construction des thermomètres, & qui fut donné l'année suivante au public (a). L'un de ces articles regarçoit la fameuse observation de M. Cyrillo ; & il résulte sommairement de ce qu'il en dit (b),

Qu'en général, les thermomètres d'Hauksbée, ou *Anglois*, ou *de la Société*, comme M. Martine les nomme, ne sont nullement exacts dans leur graduation, & sur-tout par rapport au terme de la glace. Il distingue ceux dont la Société garde le *modèle*, de ceux qu'on fait communément à Londres,

(a) Sous le titre rapporté ci-dessus dans la note de la page 207.

(b) Pages 192, 227.

& qu'on envoie dans les Provinces & hors du Royaume. Cependant ce qu'il ajoûte ensuite semble tomber sur le principe de construction des uns & des autres. « L'échelle de ces thermomètres commence, dit-il, « par 0, c'est-à-dire que 0 est marqué au « haut de la machine (je n'en fais pas la « raison) & les nombres croissent en des- « cendant, à mesure que la chaleur décroît. « Vers le haut de l'échelle est écrit *très-chaud*; « à 25 degrés, *chaud*; à 45 degrés, *tempéré*; « & le nombre 65 indique le point de la con- « gélation. Mais par les expériences que j'ai « faites avec quelques-uns de ces therinomè- « tres qui avoient été construits assez exacte- « ment sur le modèle qu'on garde à la Société « Royale, j'ai trouvé qu'en les plongeant « dans de la neige qui se dégelait, l'esprit de « vin descendoit vers les 78 ou 79 degrés, « près de 14 degrés plus bas que le point où « l'on s'étoit arrêté jusqu'à présent : aug- « mentation énorme, & qui réduiroit au pro- « dige les observations du Docteur Cyrillo « à Naples, selon lesquelles la congélation « arrive lorsque la liqueur n'est encore des- « cendue qu'au 55^{me} degré, si son ther- « momètre avoit été véritablement construit « sur l'étalon de la Société. »

En effet, ce seroit alors de 24 degrés que la gelée devanceroit à Naples le terme ordinaire de la congélation, ou de plus de

9 degrés du thermomètre de M. de Reaumur ; car c'est à peu près ce que valent 24 degrés de celui d'Hauksbée, selon la table de comparaison qu'en a donnée M. Martine*.

Aussi ne doute-t-il pas qu'il n'y ait ici, ou de la négligence de l'ouvrier dans la construction du thermomètre, ou de celle de M. Cyrillo, qui aura tenu cet instrument dans quelque lieu moins froid que ceux où l'air glacial se faisoit sentir : & voici enfin le soupçon pleinement justifié, quelle que soit la cause de l'erreur.

Je voulois en écrire à Naples, mais ayant appris que M. Taitbout Consul de France à cette Cour, étoit à Paris, j'ai cru ne pouvoir mieux m'adresser qu'à lui, & d'autant plus, qu'il nous a donné des observations météorologiques très-exactes, faites à Naples dans le cours des années 1742, 1743 & 1744, dont il sera fait mention dans l'Histoire ou dans les Mémoires de l'Académie des Sciences.

M. Taitbout m'a donc assuré, & a bien voulu encore me le certifier par écrit, qu'il n'avoit jamais rien vû à Naples de pareil à ce que M. Cyrillo en a publié, que la glace y paroissoit dans la ville, aux fontaines &

* Il a fixé néanmoins depuis à 77 le vrai terme de la congélation sur le thermomètre de la Société, pour des raisons qu'il est inutile de rapporter.

aux autres pièces d'eau précisément comme à Paris & par-tout, lorsque le thermomètre de M. de Reaumur, dont il se servoit, étoit descendu au terme de la congélation; qu'à la vérité il avoit vû quelquefois telle fontaine ou telle pièce d'eau glacée avant que la liqueur du tube fût parvenue à ce terme, à un demi-degré, ou à un degré près, plus ou moins; mais que cela n'étoit arrivé que lorsque cette eau, par la situation du lieu, au déboucher de quelque rue ou de quelque carrefour, s'étoit trouvée exposée au vent qui venoit des montagnes voisines couvertes de neige: effet très-ordinaire, commun à tous les pays, & dont nous avons donné raison en plusieurs endroits de cet ouvrage, & sur-tout dans le chapitre IX de la première partie.

Il est à remarquer que le thermomètre qui a servi aux observations de M. Taitbout, étoit exposé au nord, en plein air, sans bâtimens d'un côté ni de l'autre, & élevé de 34 pieds au dessus du sol d'un jardin. Et ces conditions sont si essentielles, que je trouve à côté d'une de ses observations du 1^{er} Février 1744, une note, où il avertit que son thermomètre d'observation étant 1 degré au dessous du terme de la glace, un autre thermomètre de la même construction, dans une chambre sans feu, étoit au lever du Soleil à 6 degrés au dessus. Ce qui donne

une différence beaucoup plus grande que celle que M. Cyrillo avoit voulu établir entre la congélation de l'eau à Naples & à Londres; car 6 degrés du thermomètre de M. de Reaumur en valent 15 de celui d'Hauksbée, selon la table de comparaison de M. Martine.

CHAPITRE VIII.

Suite du même sujet considéré sous une autre face, savoir, si l'eau peut être refroidie par une violente agitation de sa masse, ou par l'impulsion redoublée d'un nouvel air, & enfin glacée.

IL fuit de tout ce qui a été observé ci-dessus, que l'eau proprement dite, & sans mélange, se gèle par-tout au même degré de froid, & qu'en général, elle ne se gèle que quand l'air ou le milieu quelconque est arrivé à ce degré. Mais n'y auroit-il point de cas particulier, où une eau moins froide, & dans un air moins froid, seroit sensiblement refroidie, & enfin glacée? Poussons là-dessus nos doutes & nos recherches plus loin qu'on n'a porté les assertions précipitées dont nous venons de faire voir le peu de fondement.

Nous avons conclu des expériences &

des observations rapportées dans les Chapitres III & IV, que le repos de masse de l'eau & son séjour dans le même air ou dans le même milieu, lui conservoient sa liquidité, quoiqu'elle fût refroidie au delà du degré de la congélation. Nous en avons donné pour raison, que le repos de masse dans un même milieu favorisoit le mouvement intestin de l'eau, en permettant à la matière subtile ou ignée intérieure du liquide de prendre des mouvemens réglés & périodiques qui entretenoient son équilibre avec la matière subtile extérieure; & nous avons observé que la moindre interruption à ce repos, & le plus petit changement de milieu rétablissoient l'eau dans sa disposition à se glacer par sa froidur, & la faisoient glacer en effet presque subitement. Or de toutes ces expériences, & de toutes ces inductions, ne s'en suit-il pas naturellement, & par la raison des contraires, qu'une violente agitation de masse, & qu'un changement continuel de milieu doivent refroidir, & enfin glacer l'eau encore liquide, & dans un air moins froid que celui de la congélation? Voyons du moins si la Nature & les expériences s'accorderont avec ce raisonnement.

Les expériences sur ce sujet me paroissent d'abord très-difficiles à pratiquer. Car comment agiter violemment une masse d'eau

sans produire dans son intérieur une agitation, une collision de parties qui ne la dispose point à une plus grande chaleur, selon la loi générale des corps frottés les uns contre les autres ? & si cette agitation de masse, pour avoir son effet, doit lui procurer une continuelle mutation d'air ou de milieu, dans quel vaisseau la mettre pour la contenir, pour l'empêcher de se dissiper par cette agitation même, sans qu'avec cela il la défende du choc de l'air auquel elle doit être exposée ? L'air renouvelé ne heurtera-t-il pas sans cesse les parois extérieures du vaisseau, sans toucher à ses parois intérieures ? La surface contigue de l'eau n'en sera donc point frappée, & quelle que soit alors l'agitation totale de masse, cette agitation devient nulle relativement à l'air ambiant, & au liquide contenu dans le vaisseau.

Cependant, comme tout ceci roule sur ce qu'il en doit être de même, ou d'une eau agitée en masse dans un air tranquille, ou d'un air agité & poussé violemment contre une eau en repos, il s'ouvre une nouvelle route pour nous éclaircir du fait, & je me rappelle à cette occasion un phénomène qui commence à jeter ici quelque jour.

Je n'ai presque jamais plongé la boule d'un thermomètre dans un liquide, dans de l'eau, par exemple, sans qu'en le retirant

de cette eau, l'esprit de vin ou le mercure du tube n'ait baissé sensiblement, même dans un air un peu moins froid que l'eau d'où je le retirois. Mais qu'arrive-t-il par-là à ce thermomètre, que d'être mouillé de l'eau d'où il sort, & à la pellicule d'eau qui le mouille, que de se trouver tout-à-coup dans un nouveau milieu, dans un air où vrai-semblablement la matière subtile ne se meut pas comme dans l'eau, & avec laquelle l'équilibre dont nous avons parlé dans le Chapitre V, n'a pas eu le temps de se former ! La quantité de cette descente est à la vérité très-petite, d'un quart de degré, d'un demi-degré, plus ou moins ; mais qu'importe si elle est réelle & constante, comme je viens de le vérifier avec toutes les précautions que demande un tel fait ? Il est vrai encore que le nouveau milieu, que l'air, n'est ni agité ni poussé violemment contre cette pellicule d'eau : aussi l'effet en est-il peu sensible. Cependant l'air n'est jamais sans quelque agitation de parties dans un lieu tel qu'une chambre ; mais exposez au vent la boule de ce thermomètre ainsi mouillée, ou soufflez simplement contre de dix à douze pouces de distance, vous verrez encore un peu descendre la liqueur dans le tube.

Cela posé, j'en viens aux expériences suivantes.

Première expérience. Ayant placé à 7 ou 8 pouces de distance l'un de l'autre les deux thermomètres à mercure décrits ci-dessus *, j'ai enveloppé la boule de l'un d'un linge lié au dessus avec un fil: je l'ai plongée dans l'eau dont j'avois rempli un vaisseau de fayence de trois pouces de diamètre, & j'ai laissé le tout en cet état jusqu'à ce que le mercure de ce thermomètre fût descendu ou monté au point de température de l'eau. Ce point s'est trouvé le même que celui de l'air marqué sur l'autre thermomètre qui étoit auprès; & comme la chambre où j'ai fait ces expériences est toujours fermée & sans feu, & que l'air s'y soutient long-temps au même degré de chaud ou de froid, j'y retrouvai le lendemain les deux thermomètres au même point, savoir, à 8 degrés au dessus du terme de la congélation. J'avois pris de la chambre voisine où l'on fait du feu, un gros soufflet que j'avois mis quelques heures auparavant dans celle de l'expérience pour l'y laisser prendre à peu près la même température. Je retirai du vaisseau le thermomètre qui y plongeait, ou plutôt j'ôtai simplement le vaisseau qui étoit au dessous, & je soufflai assez fortement avec le soufflet de 4 à 5 pouces de distance contre le linge mouillé qui en enveloppoit la boule. Je vis alors le mercure du tube descendre sensiblement, & qui en moins de deux minutes

* Note de la page 214.

se trouva $2 \frac{1}{2}$ degrés plus bas qu'auparavant, c'est-à-dire, à $5 \frac{1}{2}$ degrés au dessus du terme de la congélation, où il s'arrêta. Je soufflai de même un moment après contre la boule toute nue du second thermomètre; mais le mercure monta dans celui-ci d'environ un demi-degré, conformément à ce qui a été dit ci-dessus * sur une pareille expérience, & apparemment par les mêmes raisons: preuve évidente que le mercure n'étoit descendu dans le premier qu'en vertu du linge mouillé ou de l'eau qui en enveloppoit la boule, & qui étant refroidie par la collision de l'air, quoique moins froid, communiquoit sa froideur au mercure.

Cette expérience ayant été répétée plusieurs fois & en divers temps, comme il faudra l'entendre de celles qui suivent, donna toujours à peu près le même abaissement, à un demi-degré de différence plus ou moins: ainsi l'effet n'en est pas équivoque. Sur quoi il faut observer,

1.^o Que le linge mouillé autour de la boule du thermomètre y entretient une pellicule d'eau qui, dans le cas de cette boule simplement plongée dans l'eau, s'évaporerait ou se dissiperait bien vite par le souffle, & qu'elle y est aussi par ce moyen subdivisée en une infinité de petites parcelles entre les interstices des filamens qui en sont imbibés;

* Page 54.

car il y a grande apparence que plus la masse d'eau frappée par l'air est petite, plus & plutôt l'effet de cette impulsion ou de ce contact est sensible.

2.^o Que si par quelque machine on se procuroit un souffle non interrompu qui frappât en même temps la boule de tous les côtés, il est à présumer que l'effet seroit plus prompt & plus considérable.

3.^o Que si ces expériences étoient faites en hiver, & lorsque le temps approche de la gelée, il est encore très vrai-semblable que l'effet en seroit plus marqué, & qu'il iroit peut-être jusqu'à la congélation de l'eau. Mais c'est ce que je n'ai point fait, & que je ne suis point en état de faire avant la publication de cet ouvrage.

4.^o Il m'a toujours paru que ces expériences réussissoient mieux en un temps sec, par le vent de nord, & lorsque le mercure est fort haut dans le baromètre, qu'en un temps humide, par le vent de sud, & lorsque le baromètre est bas : en cela semblables à celles de l'Électricité.

5.^o Une autre observation importante sur ce sujet, c'est qu'après l'expérience le linge mouillé demeurant autour de la boule du thermomètre, & le mercure y étant descendu de 2, de $2\frac{1}{2}$, ou de 3 degrés, il se soutient plusieurs heures en cet état, quoique dans un pareil espace de temps une beaucoup plus

grande masse d'eau exposée à un air plus froid que celui de la chambre d'expérience, & remise ensuite dans cette chambre, en reprenne la température.

6.^o Enfin lorsque la boule retirée de l'eau avec son linge, sans qu'on y souffle dessus, est simplement exposée à l'air de la chambre, le mercure y descend de près de 2 degrés; mais au lieu que dans le cas de l'expérience cette descente, & une plus grande descente, arrive en moins de deux minutes, dans celui-ci ce n'est qu'après plusieurs heures. Et si, en cet état, on y pousse l'air du soufflet, le mercure du tube descend encore presque dans le moment.

Seconde expérience. J'ai pris une bouteille cylindrique de verre de 3 pouces de hauteur, sur environ 15 lignes de diamètre, & dont le goulot étoit assez large pour y laisser entrer la boule d'un des thermomètres. Je l'ai entourée d'une bande de linge qui en faisoit deux ou trois fois le tour, & qui se replioit sur son fond, & près du goulot. J'ai assujéti ce linge avec du fil, & attaché la bouteille par le goulot au bout d'une ficelle de 5 à 6 pieds de longueur. Je l'ai remplie d'eau, & je l'ai plongée ainsi dans un vase plein de la même eau, jusqu'à ce que le tout y eût repris la température de la chambre, qui étoit alors de 10 degrés au dessus de la congélation. Après quoi,

l'ayant retirée du vase, par la ficelle, je l'ai fait agiter en rond, à la manière dont on fait tourner une fronde, l'espace de 3 minutes. Il en est tombé seulement quelques gouttes d'eau par le goulot, tout le reste demeurant rejeté & retenu vers le fond par la force centrifuge. J'y ai plongé sur le champ le thermomètre, & le mercure y est promptement descendu d'environ 2 degrés.

Une bouteille de plus grande surface relativement à sa capacité, & attachée à une roue où elle tourneroit plus rapidement & plus long-temps, donneroit peut-être un plus grand refroidissement; mais celui-ci suffit pour notre but, & je n'ai ni le temps ni la commodité d'en pousser plus loin l'épreuve.

Troisième expérience. Dans la partie méridionale de la Chine, à Quanton, on se sert pour rafraîchir l'eau d'une machine dont la construction porte entièrement sur le principe des deux expériences qu'on vient de voir. C'est ce que j'ai appris de M. Godeheu de la Compagnie des Indes, qui ayant été long-temps dans cette ville, & y ayant tout vû avec des yeux très-éclairés, en a rapporté une de ces machines, & a bien voulu m'en faire présent. Elle consiste en une espèce de lanterne de petit osier délié, travaillée à jour en forme de treillis ou de filigrane, de figure cylindrique, ayant pour couvercle une calotte de même, & pour

bâse une grille faite avec des tringles de bois qui se croisent, & sur laquelle pose une grosse bouteille sphéroïde à long & gros col, qu'on remplit d'eau. Cette bouteille est d'une terre cuite, grisâtre, poreuse, & d'environ une ligne d'épaisseur, que l'eau pénètre bien-tôt jusqu'à la surface extérieure; la lanterne a quatre pieds, pour être posée sur une table, & des cordons pour être suspendue. Placée de l'une de ces manières en quelque endroit de la maison, entre deux portes ou deux fenêtres qui donnent un courant d'air, on prétend que l'eau s'y rafraîchit considérablement.

Je ne sais jusqu'où peut aller ce rafraîchissement dans ces pays chauds & autour du Tropique; mais voici quel a été le succès de l'expérience à Paris, en un temps où mes thermomètres étoient au tempéré, 10 degrés au dessus de la congélation, & où il souffloit un petit vent d'ouest.

Je suspendis vers les onze heures du soir la machine ainsi préparée, à la porte de la chambre d'expérience, entre la fenêtre de cette chambre qui est vis-à-vis, & qui donne sur l'ouest, & celle de la chambre voisine qui regarde l'est, après les avoir ouvertes l'une & l'autre, & j'exposai au même courant d'air, tout proche de la lanterne, un des thermomètres décrits ci-dessus. Le lendemain matin vers les sept heures,

je trouvai ce thermomètre à 8 degrés au dessus du terme de la congélation, & l'ayant sur le champ plongé dans l'eau de la bouteille, il y descendit, en moins d'une minute, à 6, c'est-à-dire de 2 degrés bien complets, où il s'arrêta. Je vuidai l'eau du col de la bouteille où le thermomètre avoit été plongé, je versai une partie de celle du ventre sphéroïde dans un vase à part, & j'y plongeai le thermomètre qui demeura encore au même point. Ainsi toute l'eau de la bouteille avoit acquis la même température, savoir, 2 degrés de froideur de plus que le milieu ambiant ou le courant d'air dont elle étoit continuellement frappée.

Il est visible que cette expérience revient au même que les deux précédentes. Cette terre poreuse toute imbibée d'eau, & par où il s'en étoit même filtré la valeur d'une petite tasse à café, produit ici absolument le même effet que mon linge mouillé, & d'une manière plus permanente & de plus grand usage. Le peuple de Quanton pratique donc journellement, & mieux, ce que je n'avois trouvé qu'après un long circuit & des spéculations dont vrai-semblablement il ne s'est pas mis en peine. L'idée même du linge mouillé, ou de la paille, ou de telle autre matière, dont on entoure la bouteille, n'est pas nouvelle: on s'en sert sur la côte de Coromandel, & dans plusieurs autres

endroits de l'Inde, pour rafraîchir l'eau, en l'exposant à un certain vent de terre, qu'on assure d'ailleurs être très-chaud, mais qui ne laisse pas de produire ce rafraîchissement. *Le Souray*, dit Bernier, dans son voyage de Cachemire, est un flacon d'étain plein d'eau, il ne tient ordinairement qu'une pinte. L'eau se rafraîchit très-bien dans ce flacon, pourvu qu'on ait soin de tenir toujours humectée la pochette (de toile rouge) qui l'environne, & que le serviteur qui le tient à la main marche & agite l'air, ou bien qu'on le tienne au vent, comme on fait ordinairement sur trois jolis petits bâtons croisés, pour ne point toucher la terre; car l'humidité du linge, l'agitation de l'air, ou le vent, sont des conditions absolument nécessaires pour que l'eau se rafraîchisse*.

Il ne me reste donc de tout ceci, que de l'avoir assez naturellement amené à la suite de mes principes.

CHAPITRE IX.

Réflexions sur les expériences & les observations précédentes.

J'EN laisserai la plus grande partie à faire au lecteur, & je remarquerai seulement, Que la production & l'explication de ce

* Suite des Mém. du sieur Bernier sur l'Empire du grand Mogol, p. 13.

phénomène dépend en inverse de ce que nous avons dit (a) sur celui de l'eau qui ne se gèle point, quoiqu'exposée à un air plus froid que celui de la congélation :

Que l'observation 5 ci-dessus (b) achève de prouver dans la circonstance contraire, que l'eau se maintient long-temps dans le même état par son repos de masse, & tandis que le milieu demeure le même, comme il arrive ici aux particules de celle qui se trouve engagée dans les interstices du linge ou des molécules de terre de la bouteille :

Que ces phénomènes d'une eau qui, dans les circonstances données, se maintient si long-temps, vû la petitesse des masses, dans un degré de froideur qui surpasse si sensiblement celle du milieu ambiant, fournissent une nouvelle preuve du principe intérieur (c) que nous avons assigné de sa liquidité, & de son mouvement intestin :

Que quoique nous ne soyons pas en droit d'avancer qu'on pourra se procurer de la glace par les moyens indiqués dans le chapitre précédent, il est pourtant à présumer que la chose n'est pas impossible dans les circonstances requises & énoncées, ou équivalentes. Une tentative à faire là-dessus, si l'on avoit plusieurs bouteilles semblables à celle de la

(a) *Sup. pp. 220 & 246.*

(b) *Page 252.*

(c) *Première partie.*

3^{me} expérience du chapitre précédent, seroit de verser dans une seconde bouteille l'eau déjà refroidie dans la première, & d'opérer sur cette seconde comme sur la première, sans attendre néanmoins un si long espace de temps, ou en se procurant un courant d'air plus rapide, d'en faire autant sur une troisième bouteille, & ainsi de suite, pour voir si la froideur de l'eau n'augmenteroit pas toujours, & si la congélation ne s'en ensuivroit pas.

Enfin je proposerai à cette occasion & d'après ces principes la conjecture qui suit, sur la congélation des vapeurs dans l'atmosphère, & sur la formation de la neige qui en résulte.

Il est clair par tout ce que nous venons de dire dans les chapitres précédens, que les vapeurs suspendues dans l'atmosphère, dans un air dont elles sont continuellement frappées, ou, ce qui revient au même, dans lequel elles nagent & se meuvent en divers sens, doivent s'y refroidir de deux ou trois degrés au delà de la température actuelle de cet air, & vrai-semblablement beaucoup plus, à raison de leur ténuité. Or par les faits posés, si la température ou la froideur de l'air où nagent les vapeurs approche de deux ou trois degrés du terme de la congélation, ne pourront-elles pas s'y geler ? Ces vapeurs congelées ne refroidiront-elles pas à leur

tour l'air où elles nagent! Et ne résultera-t-il pas de ce refroidissement moyen & réciproque, sur-tout dans les commencemens, une masse ou portion considérable de l'atmosphère moins froide qu'au degré de la congélation! En un mot la formation de la neige, qui ne consiste visiblement qu'en de petits filets de vapeur congelés, n'exigeroit-elle pas moins de froid dans l'atmosphère que la formation de la glace ordinaire, en tant que celle-ci se fait sur des masses sensibles d'eau & beaucoup plus grandes! Ces neiges que nous voyons tomber quelquefois en un temps moins froid que celui de la gelée, ou qui semblent en amener l'adoucissement, ne se feroient-elles point formées de cette manière, & en de semblables circonstances! & certaines grêles d'été, dont les grains ne paroissent être aussi que des flocons de neige entassés, & qui en retiennent souvent la rareté & la blancheur vers leur centre, quoique lisses à leur surface, & en partie fondus en traversant la basse région de l'air, ne participeroient-elles pas de cette cause!



SECTION III.

Des phénomènes de la Glace lorsqu'elle est toute formée.

CHAPITRE PREMIER.

Du volume de la Glace.

C'EST, comme nous l'avons dit, la force avec laquelle l'eau tend à se dilater & à augmenter de volume dans le moment de sa congélation & pendant toute sa congélation, qui produit la rupture des vaisseaux où elle étoit renfermée, & tous les autres effets surprenans que nous en avons déduits dans la première Section. Mais quel est enfin ce volume, lorsque la masse d'eau est entièrement glacée, ou dans un bloc quelconque de glace considéré séparément? Il y aura, sans doute, ici autant de variété que dans la mesure de la force qui produit le phénomène. Car plus ou moins de bulles d'air & plus ou moins grosses qui auront resté dans la glace par rapport à la première cause de son gonflement, une sortie plus ou moins prompte de l'air qui s'en fera échappé en plus grande ou en moindre quantité par rapport à la seconde, des circonstances plus ou moins favorables par rapport à la troisième,

le degré de froid qui a produit la gelée, & la température actuelle de l'eau qui fait le terme de la comparaison, seront autant de sources de variété sur l'effet total & sur le volume qui en résulte après la congélation. Il ne sera donc pas surprenant que les expériences varient là-dessus entre les mains de divers Observateurs, ou dans celles d'un seul, comme je l'ai moi-même éprouvé : cependant il est toujours utile de se faire en pareils cas une sorte de point fixe autour duquel on puisse ranger les variations.

Pour cela j'eus recours à un moyen tout-à-fait semblable à celui dont on sait que se servit Archimède pour découvrir la quantité d'argent qui avoit été frauduleusement mêlé à la couronne d'or du Roy Hiéron, sans la fondre ni l'endommager. Je pesai d'abord une pièce de glace à part ; je suspendis ensuite au bras de la balance un morceau de fer ou de quelqu'autre métal plongé dans l'eau, pour voir ce qu'il pesoit dans cette eau, & après avoir remarqué quel étoit le poids du glaçon dans l'air, & le poids du fer dans l'eau, je liai ensemble le fer & le glaçon avec un petit fil, je les suspendis au bras de la balance, & je les plongeai dans la même eau. Ce que ce total pesa de moins que le morceau de fer dans l'eau, me donna la valeur de la légèreté du morceau de glace par rapport à un pareil volume

d'eau, environ comme 19 à 18, qui est le rapport même des volumes de la glace & de l'eau; les volumes des corps étant en raison directe de leurs légèretés, & inverse de leurs pesanteurs spécifiques. L'opération sera d'autant plus exacte qu'elle aura été faite plus promptement, afin que la glace n'ait pas le temps de fondre dans l'eau, & que la température de cette eau s'éloignera moins du degré de la congélation: précautions que sans doute je n'avois pas négligées lorsque je fis cette expérience en Languedoc, puisque je retrouve sur mes mémoires, qu'ayant pesé de nouveau le morceau de glace dans l'air, il y fut sensiblement du même poids qu'auparavant. J'ai répété la même expérience à Paris pendant la forte gelée de 1740, lorsque le thermomètre de M. de Reaumur étoit à près de 10 degrés au dessous de la congélation, & l'eau où je plongeai la pièce de glace $1\frac{1}{2}$ degré au dessus. Le volume de la glace excéda celui de l'eau d'environ la 14^{me} partie de celui-ci: ce qui pourroit, sans doute, aller beaucoup plus loin selon M. Boyle, & jusqu'à un 10^{me} ou un 9^{me} *; mais j'ignore comment & dans quelles circonstances il l'a vérifié.

Si l'on en croyoit quelques Navigateurs, ou les Auteurs de leurs voyages, il faudroit conclurre que le poids de ces glaçons immenses qui flottent dans les mers du Nord,

* J. B. du Hamel, *de corpor. affectionibus*, p. 126.

n'est que moitié de celui d'un pareil volume d'eau. Car, ajoûtent-ils, en manière de règle connue, *ces espèces de montagnes d'une grosseur étonnante sont aussi profondes sous la surface de la mer, qu'élevées au dessus.* Ils n'auroient pas exagéré, s'ils avoient dit, qu'elles sont 9 à 10 fois aussi profondes; puisque par la règle d'Hydrostatique, encore plus connue & plus certaine, la partie de tout corps flottant, qui excède la surface du liquide, est à sa partie submergée, comme la différence de leurs pesanteurs spécifiques est à la pesanteur du moins pesant. Ainsi la pesanteur de l'eau de ces mers, & celle de la glace qui y nage, étant supposées, si l'on veut, avec M. Boyle, en raison de 10 à 9, la partie de cette glace, qui est au dessus, ne sauroit être à celle qui est au dessous, que comme 1 est à 9. C'est-là, dis-je, ce qui s'en ensuit pour toute pièce de glace comprise entre deux surfaces planes & parallèles, comme elles sont ordinairement: car à l'égard des glaçons qui auroient une autre figure, & qui seroient concaves ou convexes, au dessus ou au dessous, & irréguliers quelconques, il n'y a plus de règle fixe à y appliquer, quoique la règle générale subsiste toujours par rapport au total du poids & du volume.

Nous avons remarqué ci-dessus, que la glace de l'eau purgée d'air dans la machine pneumatique,

pneumatique, pesoit un peu plus que celle de l'eau ordinaire. Par quelques essais que j'en ai faits, la différence du poids de cette glace à celui de l'eau, peut aller à un 22^{me}. Cette différence est donc encore plus grande que celle de l'eau de rivière à l'eau de mer, qu'on évalue à un 48^{me}.

CHAPITRE II.

Si le volume de l'eau glacée ou de la glace continue d'augmenter.

ON peut faire sur le volume de la glace une question qui n'est pas sans fondement; savoir, si ce volume augmente encore après qu'elle est toute formée? nous verrons bien-tôt qu'il diminue par l'évaporation, mais c'est ce dont nous faisons abstraction ici. Et si malgré cette évaporation, & lorsqu'elle ne sauroit avoir lieu, l'augmentation de volume se manifeste par ses effets ordinaires, nous devons en conclurre qu'elle est bien réelle.

Puisque le froid & la congélation produisent le gonflement de l'eau & de la glace dans ses commencemens, pourquoi la continuation du froid, & presque toujours un plus grand froid, n'y produiroient-ils pas un plus grand gonflement après qu'elle est toute formée? Il n'y auroit que le

repos de toutes les parties entr'elles qui pût s'y opposer ; mais voici des faits qui prouvent que ce repos n'est qu'apparent.

Le canon de fer employé dans l'expérience de M^{rs} Huguens & Buot , dont nous avons parlé ci-dessus *, ne creva que 12 heures après avoir été rempli d'eau & exposé à la gelée. On ne marque pas le diamètre de ce canon ; mais si ce n'étoit , par exemple , qu'un gros canon de mousquet , comme il y a tout lieu de le croire , & que la gelée fût un peu forte , il ne falloit que quelques minutes , ou une heure tout au plus , pour geler cette eau jusqu'à l'axe du cylindre qu'elle y formoit. Car à compter de cet axe jusqu'à la surface cylindrique , il n'y pouvoit guère avoir que 4 ou 5 lignes d'épaisseur , & en y comprenant celle du canon , un pouce tout au plus de fer & d'eau à pénétrer par le froid. Or c'est ce que fait d'ordinaire une forte gelée en une heure & certainement en deux heures. Pourquoi donc l'expansion presque invincible de la glace n'auroit-elle produit la rupture du canon qu'après 12 heures d'intervalle ?

Un semblable effet arrive plus ou moins tard après l'entière congélation , sur des matières beaucoup plus cassantes que le fer , & telles que la terre cuite , le verre & la porcelaine , lorsque les vaisseaux qui en sont

* Page 176.

formés se trouvent être fort épais relativement à leur capacité ou à la quantité d'eau qu'ils contiennent.

Nous avons remarqué en son lieu, que lorsqu'on fait geler de l'eau qui présente une grande surface à l'air froid, & dans des vaisseaux dont les parois peuvent soutenir une partie de l'effort de la glace, le reste de cet effort s'exerce sur la glace même en la faisant un peu voûter, soit par l'obstacle que les parois du vaisseau opposent à sa dilatation, soit par l'expansion de l'eau & de l'air en bulles, qui sont au dessous de la voûte & où la congélation continue d'agir. Ayant mis les choses en cet état, j'ai percé le vaisseau par-dessous, pour en faire écouler l'eau qui y restoit, je l'ai exposé de nouveau pendant plusieurs heures ou quelques jours à une forte gelée, & j'ai presque toujours trouvé après cela la voûte de glace plus convexe qu'auparavant. Cette convexité est peu sensible dans l'un & l'autre cas, & il n'est pourtant pas impossible de la vérifier avec assez d'exactitude avant & après, par le moyen d'une règle posée de champ sur les bords du vaisseau, & en prenant la distance de son tranchant inférieur au sommet de la voûte, ou, comme je le suppose ici, au milieu de la superficie de la glace. Or on voit assez que cette augmentation de convexité ne peut être que

l'effet des nouveaux efforts de la glace pour se dilater.

Ce qui nous est indiqué en petit dans cette expérience, arrive en grand, si je ne me trompe, sur les grandes pièces d'eau, sur les lacs & sur les marais glacés, où l'on entend quelquefois un craquement tout semblable à celui d'une poutre qui se rompt. *Ce craquement est produit, selon toute apparence, par les parties qui se détachent, & qui se dressent de telle manière les unes contre les autres, lorsqu'elles sont soutenues par les côtés, que la glace semble s'élever & se rompre en se séparant, & qu'elle forme quelquefois des crevasses qui sont de la longueur d'une demi-lieue, & même d'une lieue entière **.

J'ai observé bien des fois, & l'habile Observateur dont je viens de rapporter les paroles l'a aussi remarqué, que les bulles d'air qu'on voit dans la glace y augmentoient visiblement de grandeur par succession de temps; de manière que telle bulle qui ne paroïssoit être d'abord que d'une ou deux lignes de diamètre y paroîtra augmentée quelques jours après du double, du quadruple, &c. je dis y paroîtra, parce que les réfractions dans la glace, à travers laquelle on la voit, nous empêchent de bien juger de sa grandeur absolue; mais son augmentation y étant proportionnelle, on ne peut

* Mussch. *Ess. de Phys.* P. 443.

douter de sa réalité. Or d'où viendrait-elle cette augmentation? Les parois intérieures de l'espace qu'occupe la bulle ne sauroient se dissiper dans l'intérieur de la glace : il faut donc que la totalité du volume de la glace augmente, que la sphère creuse qui contient cette bulle d'air se dilate, & permette à l'air de se dilater.

Enfin je m'assurai encore plus directement du fait en 1740; car ayant laissé pendant huit jours à la gelée le morceau de glace dont je m'étois servi pour l'expérience du chapitre précédent, & l'ayant appliqué de nouveau à la balance de la même manière & dans une eau de même température, je trouvai son volume relatif augmenté d'environ $\frac{1}{78}$; c'est-à-dire, qu'au lieu qu'il n'étoit auparavant plus léger que l'eau qu'en raison de 14 à 13, il le fut alors en raison à peu près de 12 à 11.

CHAPITRE III.

De la force de la glace par sa résistance à être rompue, brisée ou aplatie, & en général de sa consistance.

IL n'a été question jusqu'ici de la force de la glace que par rapport à son expansion & à l'effort qu'elle fait contre tout ce qui s'y oppose. Nous parlerons présentement de

sa force par la cohésion & la dureté de ses parties, & en général de la résistance qu'elle apporte à leur séparation, ou à leur déplacement.

En général la glace est d'autant plus forte pour résister à sa rupture, qu'elle est plus compacte, qu'elle contient moins d'air, ou que l'espèce d'ébullition qui survient à l'eau pendant la congélation a été moins violente. Ainsi la lenteur de la congélation contribue à la force de la glace, en tant qu'elle donne plus de temps à l'air contenu dans l'eau dont elle est formée, pour en sortir.

Je ne prétends cependant parler en cela que de la glace de nos climats où les froids, quelque grands qu'ils nous paroissent, ne sont que médiocres en comparaison de ceux des pays du nord près du cercle polaire & au delà. Car la glace pourroit se former si promptement, & par un froid si excessif, que l'extrême roideur des amas particuliers des parties propres de l'eau en augmenteroit plus la dureté, que la quantité d'air qui y reste par la prompte congélation ne la diminueroit. Il en seroit alors de cette glace comme de certaines pierres, qui, bien que rustiques & poreuses, ne laissent pas d'être beaucoup plus dures que le tuf & que d'autres pierres dont la contexture est plus uniforme.

C'est-là aussi à peu près ce qui arrive aux

glaces du nord, selon le témoignage d'un savant Pilote * qui en a fait une exacte description dans le Journal qu'il écrivit en partie pour satisfaire aux curieuses recherches de la Société Royale de Londres. *La différence*, dit-il, *qu'il y a entre la glace de Spitzbergen & celle de notre climat, c'est que la première n'est pas assez unie pour qu'on y puisse glisser & qu'elle est beaucoup plus dure, en sorte qu'on a de la peine à la rompre & à la fondre elle est aussi dure qu'une pierre & en même temps aussi spongieuse qu'une pierre-ponce.* Il dit néanmoins que dans les grandes pièces de glace qui se trouvent dans la mer glaciale, c'est la partie inférieure & tournée vers le fond de la mer, qui est la plus spongieuse, que le haut ou la partie supérieure l'est beaucoup moins, & *qu'on la pourroit nommer la substance & la moëlle de la glace.*

La raison de cette diversité n'est pas bien difficile à concevoir; les particules salines étant beaucoup plus pesantes que l'eau, font tendre vers le fond l'eau la plus salée; c'est pourquoi les eaux douces des rivières qui aboutissent à la mer, & même celles des sources qu'il y a souvent au fond de la mer,

* Frédéric Martens de Hambourg, en 1671. Journal du Voyage à Spitzbergen, &c. traduit de l'Allemand en François, *ch. III, de la Glace.* Dans le Recueil des Voyages au Nord.

doivent monter ordinairement vers la superficie avant que de se mêler parfaitement avec ses eaux salées, qui sont plus pesantes. Or le sel étant un obstacle à la congélation, lorsqu'il est mêlé avec l'eau, ainsi que nous le dirons en son lieu, il est clair que l'eau de la mer, où il y a plus de sel, doit produire une glace moins compacte & plus spongieuse que celle où il y a moins de sel. D'ailleurs les glaçons où l'on remarque cette différente consistance se trouvent presque toujours vers les côtes, ou s'en sont détachés; car ce n'est absolument qu'auprès des côtes, & jusqu'à une vingtaine de lieues par-delà, que la mer se gèle, comme l'ont vérifié les Navigateurs qui ont le plus approché du pôle; & c'est aussi auprès des côtes qu'il y doit avoir une plus grande quantité d'eau douce, à cause des rivières qui y ont leurs embouchûres.

Les glaces qui se trouvent dans les terres en Islande sont si dures, qu'il est bien difficile de les rompre avec le marteau, & si sèches, que c'étoit autrefois une tradition dans cette Île, qu'elles brûloient quand on les mettoit au feu *, de même que du charbon de terre. Pour cette dernière circonstance, je crois qu'on me dispensera d'en chercher l'explication, aussi-bien que de la

* Adam de Brème, cité dans la Peyrere, *Relation d'Islande*, art. 49.

grêle enflammée qu'un Auteur * a écrit qui tomba pendant le grand froid de l'année 1305, & qui causa plusieurs incendies. L'une de ces merveilles pourroit avoir été imaginée d'après quelques concrétions bitumineuses ou nitreuses qui sembloient faire corps avec la glace; l'autre en conséquence de quelque météore ignée qui accompagnoit la grêle. Mais c'est faire trop d'honneur à de pareilles traditions que de leur chercher un fondement.

Pour dire quelque chose de plus précis sur la résistance que la glace apporte à être rompue, je fis geler de l'eau dans un tuyau rond dont l'intérieur avoit quatre lignes de diamètre; je pris ensuite le petit cylindre de glace que je fis sortir en échauffant un peu le tuyau qui le renfermoit; & après l'avoir exposé de nouveau à l'air froid, je l'ajustai sur deux appuis à 6 pouces de distance l'un de l'autre, & je suspendis une corbeille au milieu par un fil, dans laquelle je mis des grains de plomb jusqu'à ce que le cylindre de glace rompît. Je trouvai qu'un peu avant que de rompre il portoit 1 livre 1 once 2 gros. Mais ayant répété plusieurs fois cette expérience, elle varia selon que la glace étoit plus ou moins remplie de bulles d'air, qu'elles y étoient plus ou moins uniformé-

* Krantsius, au rapport de M. Perrault, *Essais de Phys.* tome 4, P. 345.



ment répandues, & selon le temps qu'il y avoit que la glace étoit formée. C'étoit dans le Bas-Languedoc: je l'ai faite depuis à Paris en Janvier 1740, le thermomètre étant à plus de 9 degrés au dessous du terme de la congélation, sur un cylindre de glace dont la base étoit assez juste de 12 lignes ou 1 pouce de diamètre, portant à même distance sur deux appuis, après avoir été exposé à ce froid pendant vingt-quatre heures. Il soutint $10\frac{1}{2}$ livres & rompit à la 11^{me}: ce qui, toutes réductions faites des bases de fraction, des centres de gravité de ces bases, & des points d'extension & de compression des fibres, selon la théorie de la résistance des solides, donne la résistance de la glace un peu plus grande que celle du cylindre de 4 lignes de diamètre. Sur ce même pied, & dans les mêmes circonstances, un cylindre de glace de 12 pouces de diamètre soutiendrait 1512 livres sans se rompre.

Pour comparer cette résistance avec celle de quelques autres corps connus, par exemple, à celle du marbre, j'ai fait le même essai sur un prisme quadrilatère rectangle de marbre blanc que j'avois, d'environ un pied de longueur & d'un pouce de côté à sa base; & l'ayant mis sur deux appuis à 10 pouces de distance, il a porté par son milieu 84 livres, poids de marc, pendant quelques secondes avant que de rompre, & il a rompu net à angles

droits environ une ligne à côté de son milieu: d'où l'on peut conclurre, après les mêmes réductions dans le détail desquelles nous n'entrerons point ici, que la résistance de la glace est bien inférieure à celle du marbre, & à peu près en raison de 1 à 10. Mais, comme je l'ai remarqué, plusieurs circonstances peuvent faire beaucoup varier ces expériences à l'égard de la glace, & même à l'égard du marbre, du bois & des autres corps solides. Ce qu'on peut aussi en déduire par rapport à la glace d'après ce que j'en ai dit, & le témoignage de Fréd. Martens sur les glaces du Spitzberg, c'est qu'en général la glace résiste d'autant plus à être rompue, qu'elle a été formée par un plus grand froid, ou dans des pays plus froids.

Quant à l'adhérence & à la ténacité de la glace sur les autres corps solides où elle s'est attachée, nous avons une expérience de M. Varignon *, de laquelle il résulte qu'un morceau de glace circulaire, de près de 3 pouces de diamètre, & pesant 3 onces 2 gros, s'étant attaché par sa base à l'appui d'une fenêtre depuis 6 minutes, il ne pût en être détaché par un effort de 16 livres & environ 3 onces, & qu'il fallut y employer le marteau. Mais il manque là, comme on voit, bien des circonstances, pour en conclurre quelque chose d'exact.

(b) Hist. de l'Acad. des Sc. 1691, p. 113.

Lorsqu'on porte les doigts sur un corps très-froid & très-compacte, tel que du métal, il arrive quelquefois qu'ils s'y attachent, & qu'en voulant les retirer trop promptement, on y laisse la peau, ou qu'elle en est endommagée. Ce qui est facile à comprendre, la partie humide de la transpiration, & peut-être un peu de sueur, s'y congèlent subitement, & adhérant en même temps au métal & à la peau, les retiennent attachés l'un contre l'autre. Mais un peu de patience, & la chaleur naturelle de la main, feront bien-tôt évanouir ce danger.

La ténacité des parties qui fait la principale force de résistance de la glace, & en général, des corps qu'on veut rompre, en y suspendant un poids, n'est pas la même chose que ce qu'on appelle leur dureté, quoique l'une de ces qualités ne se trouve guère sans l'autre jusqu'à un certain point, & que les deux puissent participer d'une semblable cause. Une table de marbre peut être plus dure qu'une pareille planche de sapin, & résister cependant beaucoup moins à la rupture par le choc ou par la compression : en un mot la résistance à la compression, & la résistance au choc, ne sont nullement proportionnelles en différens corps à leur résistance de divulsion ou de rupture par les poids qu'on y suspend entre deux appuis, ou à une de leurs extrémités, lorsqu'ils sont

retenus & fixement attachés par l'autre. La dureté des corps, plus directement opposée à la mollesse, que la simple ténacité, indique aussi plus particulièrement leur résistance à l'extension, à l'applatissement, & à tout changement de figure ; & cette résistance est ordinairement d'autant plus grande, qu'ils ont plus de disposition à être brisés & pulvérisés, comme on le voit dans la cire, la résine, plus ou moins refroidies, & dans plusieurs autres substances. La force ou la résistance de la glace peut donc être encore considérée dans tous ces sens. Je n'ai garde d'entrer dans un si grand détail ; mais voici un fait qui en réunit plusieurs exemples.

Pendant l'hiver de 1740, qui fut très-rigoureux, sur-tout en Russie, où le froid surpassa celui de 1709, & qui l'égalait presque dans nos climats, on construisit à Pétersbourg un Palais de glace de $52\frac{1}{2}$ pieds de longueur, sur $16\frac{1}{2}$ de largeur, & 20 de hauteur, sans que le poids des parties supérieures, & du comble qui étoit aussi de glace, parût endommager le moins du monde le pied de l'édifice. La Neva qui étoit tout proche, & où la glace avoit deux à trois pieds d'épaisseur *, en avoit fourni les matériaux. Les blocs de glace qu'on en

* Comme je l'apprends de M. Sanchez, alors premier Médecin de S. M. I. la Czarine Anne.

tiroit , étoient d'abord taillés avec soin , embellis d'ornemens & posés ensuite , selon toutes les règles de la plus élégante architecture. C'est ce qu'on peut voir dans la description que M. Krafft , alors Professeur de Physique à l'Académie Impériale de Pétersbourg , & aujourd'hui à Tubinge , nous en a donnée *. Mais ce que nous ne devons pas passer sous silence , il y avoit au devant du bâtiment six canons de glace faits sur le tour , avec leurs afuts & leurs roues semblablement de glace , & deux mortiers à bombe , dans les mêmes proportions que ceux de fonte. *Les canons étoient de ceux de 3 livres de poudre de charge*, ce qui répond tout au moins à 6 livres de balle ; mais on ne les chargeoit que d'un quarteron de poudre qu'on mettoit dans l'ame de ces pièces d'artillerie , après quoi on y faisoit couler un boulet d'étoupe , & même quelquefois de fer de fonte. *L'épreuve d'un de ces canons fut faite un jour en présence de toute la Cour , & l'ayant chargé comme nous venons de l'expliquer*, le boulet perça une planche de deux pouces d'épaisseur à 60 pas d'éloignement. Il seroit à désirer pour notre sujet , & pour en tirer quelque sorte de comparaison , qu'on eût fait successivement ces canons plus épais , jusqu'à ce qu'ils

* Traduite d'Allemand en François par M. P. L. le Roy , de la même Acad. & imprimée à St Pétersb. en 1741 , avec les figures en plusieurs Planches.

eussent pû soutenir la charge entière de 3 livres. Cependant l'effort d'un quarteron de poudre contre une glace, qui, selon les proportions ordinaires, ne pouvoit guère avoir que 3 ou 4 pouces d'épaisseur, & qui n'en a point éclaté, ne laisse pas de nous indiquer une très-grande force à cet égard.

Un fameux Historien du nord * parle des murailles de glace, & des autres ouvrages de défense, qu'on peut se procurer contre les assiégeans d'une ville en temps d'hiver, comme d'une pratique usitée chez les nations septentrionales. Quoique cet Auteur ne soit pas toujours bien délicat sur la certitude des faits qu'il rapporte, il n'y a rien dans celui-ci que de très-possible; le Château de glace de Pétersbourg en est la preuve. Des encaissemens remplis de glace & d'eau qui se lieroient bien vîte ensemble, pourroient fournir en des occasions pressantes, dans ces pays où la glace est aussi dure que la pierre, & aussi épaisse qu'on veut, une espèce de fortification très-prompte & très-solide.

* Olaus Magnus, *Hist. de Gentib. Septentrion. l. 11, cap. 25, p. 381, édit. Rom. 1555, De mœniis glacialibus.*

CHAPITRE IV.

De la force de la glace pour porter un poids, lorsqu'elle est elle-même portée par l'eau.

IL est évident que telle planche d'un bois plus léger que l'eau, & qui, n'étant soutenue qu'en l'air par ses extrémités sur deux ou plusieurs appuis, plieroit ou se romproit sous un certain poids, ne pliera pas de même, ou ne rompra pas sous ce poids étant soutenue par l'eau. Sa partie hors de l'eau ne peut s'y enfoncer qu'en déplaçant une quantité d'eau de même volume, & le poids de cette quantité d'eau est précisément celui que cette planche y peut porter de plus qu'en l'air, sans s'enfoncer ou sans se rompre, toutes circonstances d'ailleurs égales. Il en est de même de la glace qui flotte sur l'eau.

C'est sans doute en ce sens que quelques Auteurs ont déterminé la force de la glace, relativement à sa consistance dans les pays où ils écrivoient. Ils ont dit, par exemple, de la glace en Suède & en Dannemarc, « Qu'une glace de 2 doigts d'épaisseur pourroit porter un homme, & lui permettre » de marcher dessus; de 3 doigts, un Cavalier armé; d'une paume & demi, ou

de 4 à 5 pouces, une troupe ; & de 3 « ou 4 paumes, une armée (a). »

Dans la grande gelée de 1683, la *Société Royale* ayant fait mesurer l'épaisseur de la glace de la Tamise, quand on alloit dessus en carrosse, elle ne se trouva que de 11 pouces (b).

Mais toutes ces règles & tous ces exemples sont équivoques, & seroient souvent très-dangereux à suivre, si l'on n'y apportoit pas un certain examen.

Quand la pièce de glace n'étant pas bien étendue trouve un appui solide à ses extrémités, quand elle tient, par exemple, aux bords d'une rivière, elle doit soutenir des poids d'autant plus grands, qu'elle archoute presque toujours sur ces appuis, qu'elle s'enfle vers son milieu & y devient convexe, par l'effort continuel qu'elle fait pour se dilater. Mais il n'en est pas de même d'une glace fort étendue, qui flotte, par exemple, sur la mer, ou qui peut s'y trouver rompue ou fêlée en plusieurs endroits, par l'effort, & par les secousses réitérées de l'eau qui est au dessous, selon que cet effort ou que ces secousses s'y communiquent par les vagues d'alentour, ou par les mouvemens du flux & du reflux. Ces pièces de glace isolées, séparées du total, ou moins

(a) Ol. Magnus, *ubi sup. l. 1, cap. 27*, adopté par Ge. Alb. Hamberger, *Hist. Frigoris, Phæn. 78*.

(b) *Hist. de l'Acad. 1709, p. 10.*

liées entr'elles à cause des fentes qui en interrompent la continuité, ne peuvent alors soutenir les poids dont elles sont chargées, que par l'excès de leur légèreté ou de leur volume par rapport à l'eau qui les soutient, quelle que soit d'ailleurs leur épaisseur, & leur résistance à la rupture.

Je crois qu'en général de la glace d'un pied d'épaisseur, indéfiniment étendue & sans fêlure, porteroit une armée; comme on le peut juger par l'exemple de la Tamise; tandis qu'un glaçon flottant de la même épaisseur & de 70 toises quarrées ou 2520 pieds quarrés de surface, ne soutiendrait pas 100 hommes, pesant chacun 160 livres & en tout 16000 livres; quoiqu'ils y fussent distribués de la manière la plus avantageuse, & que chacun y pût occuper plus de 25 pieds quarrés. La pièce de glace s'enfonceroit infailliblement sous eux, son volume étant supposé être à celui de l'eau en raison de 12 à 11*.

C'est, dis-je, à cette circonstance de la continuité, ou de la non continuité de la

* Car en ce cas la partie excédante de la glace sur l'eau ne seroit que de 1 pouce. Or on trouvera que 1 pouce d'épaisseur sur 70 toises quarrées ou 2520 pieds quarrés ne donne que 210 pieds cubes. Le pied cube d'eau de mer pèse ordinairement 72 livres, qui étant multipliées par 210 ne font en tout que 15120 livres, & ce poids est inférieur de 880 livres à celui des 100 hommes.

glace, qu'il faut principalement faire attention. Ce n'est guère par l'épaisseur qu'elle manque, dans les pays & dans les occasions où l'on entreprend de ces expéditions périlleuses. Il est du moins fort aisé de s'assurer de cette épaisseur. Lorsque le Roy de Suède, Charles Gustave, passa avec toute son armée & son artillerie, de Fionie en Zélande*, sur les glaces du détroit de la mer Baltique qui sépare ces deux îles, & qui peut avoir 5 à 6 lieues de largeur, on avoit soigneusement sondé ces glaces; l'épaisseur en avoit été trouvée plus que suffisante pour soutenir un tel poids sans se rompre, & elles le soutinrent en effet du côté de sa droite; mais il y a toute apparence qu'elles étoient déjà rompues ou fêlées vers sa gauche, & que les glaçons n'en avoient pas l'étendue nécessaire pour déplacer par leur partie excédante sur l'eau le volume de liquide qui devoit faire équilibre aux poids, ou surmonter même ces poids. Et c'est-là aussi que périrent une centaine de Cavaliers de son armée.

* En 1658. Voy. Sam. Lib. Bar. de Pufendorf, *De Rebus à Car. Gust. Sueciæ R. gestis*, l. 5.

CHAPITRE V.

De la froideur de la Glace.

A VEC l'idée que le mot de glace réveille dans l'esprit, comme de tout ce qu'il y a de plus froid dans la Nature, auroit-on cru qu'il y pouvoit avoir de l'eau non glacée de 4 à 5, de 7 à 8 degrés plus froide, & apparemment de beaucoup plus, par rapport à la glace qui va s'en former? C'est cependant ce qu'on a vû dans la Section précédente.

La glace dans sa formation semble donc exiger un certain degré de froid qui lui est propre, & qui survient à l'eau dans le moment de trouble que nous y avons remarqué, en décrivant ses commencemens, & l'exiger de manière, que si l'eau se trouve alors plus froide, elle doit diminuer de froideur dans l'instant de sa transformation en glace. En un mot, la glace qui commence à fondre, & l'eau qui commence à geler ont le même degré de froideur. C'est ce que plusieurs Physiciens modernes ont parfaitement constaté, & en différens pays. Le terme de la congélation de l'eau est devenu un point fixe & de comparaison soigneusement marqué sur la graduation de la plupart des thermomètres qu'on a faits dans ce siècle-ci.

On ne peut douter cependant, que la glace, ainsi que les autres solides, n'acquière dans un milieu plus froid, ou par le contact des autres corps plus froids, à peu près le même degré de froideur qu'ont actuellement ceux-ci. Car sans compter ce que nous avons rapporté des glaces du Groenland & du Spitzberg, qui paroît supposer un très-grand refroidissement, on ne peut douter que de la glace entourée du mélange de sel & de glace, dont il sera parlé dans la cinquième Section, n'en reçût un degré de froid très-supérieur à celui de sa froideur initiale. Je ne prétends pas que tous les corps prennent également, ni en temps égal, le degré de froideur ou de chaleur du milieu ou des autres corps qui les touchent. Il y a sans doute bien de la différence, sur-tout dans les fluides, & cela dans les uns & dans les autres, à raison de leur densité, de la texture de leurs parties, & de la manière dont le fluide éthéré y circule. La glace pourroit donc bien à cet égard être susceptible de plus & de moins, par rapport aux corps qui l'environnent; mais je dis, qu'en qualité de solide dont les parties sont sensiblement en repos entr'elles, la glace prend bien-tôt à raison de sa masse la température de ceux-ci, & qu'en général ces différences disparoissent par succession de temps & par la continuité du contact.

Quant à la vérification & à la mesure exacte de la froideur de la glace dans ses différens états, il ne faut point l'espérer jusqu'à ce qu'on ait trouvé un thermomètre propre à mesurer exactement la température des solides, sans les fondre ni les pulvériser; car il est difficile, du moins dans nos climats, de briser & pulvériser la glace, sans qu'elle ne commence à fondre. J'ai quelquefois appliqué à la superficie de la glace, un thermomètre plat par son fond ou par un des côtés de la boule, & tout ce que j'en ai retiré de plus sûr, c'est que la glace augmente assez uniformément de froideur pendant que la gelée dure dans les mêmes circonstances & jusqu'au dégel exclusivement. Mais je ne saurois encore me fier beaucoup à cette application imparfaite, & qui ne peut l'être également en différens cas.

La froideur de la glace & la congélation ne gagnent point aussi avant dans les terres qu'on pourroit se l'imaginer. En France, en Allemagne, & dans la plupart des pays situés au milieu de l'Europe, la glace pendant les plus grandes gelées, ne pénètre guère à plus de 2 pieds de profondeur; en Moscovie & dans les pays septentrionaux, en deçà du cercle polaire, elle va à 6, & jusqu'à 10 pieds*, selon la nature

* Ge. Alb. Hamberger, *Hist. Frigoris*, Phæn. 76.

du terrain : au delà du cercle polaire j'ignore qu'on en ait fixé les bornes. Mais la communication de la froideur de la glace à l'air & à l'atmosphère est beaucoup plus prompte, & s'étend apparemment beaucoup ^{plus} loin. Ceux qui voyagent dans les mers du nord sont bien-tôt avertis par-là de l'approche des grands glaçons qu'on y trouve, même au milieu de l'été ; *la température de l'air change dans l'instant, & de chaud qu'il étoit devient extrêmement froid (a).* Cet avertissement ne leur est pas inutile.

CHAPITRE VI.

Du goût de la Glace.

JE ne trouve ni par mon goût, ni par aucune expérience certaine, que la congélation fasse rien perdre à l'eau, ni qu'elle y ajoute quelque chose : je veux dire, que l'eau me paroît avoir le même goût après avoir été gelée, qu'elle avoit avant que de se geler. Il y a cependant des Physiciens (b)

(a) Voyage de la Baie de Hudson, tome 2, p. 33.

(b) Athan. Kircher, *Mund. Subterr. lib. 3, Sect. 3, cap. 4, tom. 1, p. 166.* Borrichius, dans les observations qu'il a faites en Dannemarc, *Act. Hafniens. vol. 1. observ. 64, p. 144.* Thom. Bartholin, *de Nivis usu medico, cap. 6, p. 42.*

qui ont cru que l'eau de la mer devenoit douce en se gelant, & qui, sans trop s'embarasser de la certitude du phénomène, ne se sont appliqués qu'à en chercher la cause. Mais ce n'est rien moins qu'une erreur de fait. Ils n'avoient apparemment goûté que de la partie extérieure des glaces, ou de quelques glaces minces qui s'étoient formées auprès des côtes; car il est vrai que celles-là ont le même goût que la glace des rivières. Et cela n'est pas étonnant, puisque les rivières qui se rendent à la mer fournissent une grande quantité d'eau douce auprès des côtes, laquelle par sa légèreté, surnage quelquefois assez long-temps & assez loin sur l'eau salée, avant que de se charger des mêmes sels. Si ces Auteurs avoient pris de la partie de ces glaces qui est sous l'eau, & du dessous de ces glaçons épais, qui flottent dans les mers du Groenland & de la nouvelle Zemble, ils auroient trouvé que *la glace en étoit aussi salée que la mer même* *. C'est ce qu'on peut éprouver par-tout, en faisant geler artificiellement de l'eau salée, ou de l'eau de mer qu'on aura prise loin des côtes. Il arrive seulement pour l'ordinaire que la superficie ou les parties extérieures d'un pareil glaçon sont

* Frédér. Martens, *ubi sup.* & Supplément aux Voyages du Capitaine Wood & de Frédér. Martens; traduit de l'Anglois, p. 297 du Recueil, tome 2.

peu salées ou tout-à-fait douces, par cette cause, & par la sécrétion qui se fait alors de l'eau douce & de l'eau salée, comme nous l'avons remarqué des parties spiritueuses du vin exposé au grand froid. Aussi trouve-t-on souvent sur ces immenses glaçons qui flottent dans les mers du nord, pendant l'été, des espèces de lacs d'eau douce, qui se gèlent & se dégèlent quelquefois alternativement selon la température des jours & des nuits *, & dont les navigateurs ne manquent pas de profiter, pour rafraîchir leurs équipages & remplir leurs tonneaux vuides.

J'ai vû au contraire des personnes qui pensoient que la glace étoit moins douce que l'eau dont elle avoit été formée, en vertu, disoit-on, de je ne sais quelles parties *frigorifiques* & salines qui s'introduisent dans l'eau pendant sa congélation ou qui l'occasionnent, & qui en sortent dès qu'elle redevient liquide. Autre illusion, dont la cause n'est pas difficile à imaginer, le piquant de la glace, ou de l'eau très-froide étant visiblement l'effet de la contraction subite qu'elle produit sur les fibres de la langue & du palais. Il en est de même de la sensation de chaleur ou de brûlure, qu'excite un morceau de glace qu'on souvient quelque temps sur la paume de la main :

* Voyage de la Baie de Hudson, tome 2, p. 35.

le resserrement & la crispation d'un nombre de fibres & de nerfs y produit sur les fibres voisines & tout alentour un tiraillement qui tend à les diviser ou à les rompre, comme feroit à peu près un instrument tranchant, ou le feu. Le sentiment qui en résulte n'en diffère pas beaucoup, & un aveugle pourroit s'y tromper.

C'est à ce resserrement de parties, & aux effets qu'il doit produire sur toute l'économie animale, plutôt qu'à aucune vertu interne de la glace, différente de celles de l'eau ordinaire, que j'attribuerois les guérisons merveilleuses que la glace opéroit entre les mains du Capucin de Malthe; car il en frottoit quelquefois tout le corps de ses malades. On en peut voir les suites & le détail dans le second volume des *Vertus médicinales de l'eau commune*; édition de Paris, 1730.

A l'égard des liqueurs spiritueuses & odorantes moins homogènes dans leur composition que l'eau, je ne doute pas que la congélation ne puisse causer de grands changemens à leur goût, à leur odeur, à leur fluidité même & à leurs autres qualités sensibles, en désunissant ou en assemblant des parties hétérogènes qui étoient auparavant unies ou séparées, & en altérant ainsi toute leur texture. M. Geoffroy a observé que l'eau de fleur d'orange qui sent l'empyreume perd

cette odeur par la gelée, & en prend une très-agréable *.

CHAPITRE VII.

De la transparence & de la couleur de la Glace.

LA glace est ordinairement moins transparente & plus blancheâtre que l'eau dont elle est formée. Ces deux qualités viennent vrai-semblablement du même principe, savoir, du dérangement des parties dont il a été parlé ci-dessus, & des bulles d'air enfermées dans la glace. Lorsqu'on regarde certains glaçons avec un microscope, on y voit, outre les petites bulles d'air, une infinité de fêlures & d'éclats qui réfléchissent diversement la lumière, selon la situation où ils se trouvent. Ce sont ces réflexions de la lumière, causées par une prodigieuse quantité de surfaces & de petites lames d'eau glacée, différemment inclinées, qui produisent la blancheur de la neige. Aussi fait-on de la neige artificielle par le moyen d'une eau long-temps agitée & réduite en écume dans quelque tube de verre ou dans une bouteille oblongue qu'on expose sur le champ à la gelée.

C'est par la même raison que le verre pilé

* Hist de l'Acad. 1713, p. 32.

devient une poudre blanche , qui n'est plus transparente à la vûe simple , quoiqu'avec le microscope ou dans l'eau chaque particule de neige ou de verre ne diffère en rien de la glace ou du verre ordinaire. Il en est encore de même à peu près du marbre noir réduit en poudre , & de la plûpart des autres corps. Car selon la pensée d'Is. Vossius (a) , & comme l'a plus particulièrement montré M. Newton (b) , les petites parties de tous les corps sont naturellement transparentes , & leur opacité ne vient que de la multitude des réflexions de ces parties. C'est pourquoi la glace de l'eau qui a été purgée d'air , & qu'on a fait bouillir & geler alternativement deux ou trois fois , est plus transparente & d'une couleur plus foncée.

Par une semblable raison la partie extérieure de la glace est presque toujours moins transparente , plus blancheâtre & plus terne que le dedans. Car outre que pendant la congélation , les bulles d'air qui s'échappent de l'eau vers sa superficie y produisent mille petites inégalités , cette superficie n'est pas plutôt gelée , que l'effort continuel des particules insensibles de glace , pour s'incliner les unes aux autres sous l'angle de 60 degrés , comme il a été remarqué ci-dessus (c) , s'y

(a) *De naturâ & propr. Lucis* , ch. 23.

(b) *Opt.* lib. 2 , part. 3 , Prop. 2.

(c) Sect. I , Chap. VIII.

exerce beaucoup plus aisément que dans l'intérieur. Elles se redressent ou s'évaporent, ce qui fait autant de petits vuides & de nouvelles surfaces différemment posées, d'où la lumière se réfléchit diversement. Ainsi pour bien voir la transparence de la glace, il faut en enlever cette croûte de sa surface & de ses fractures, & la faire un peu fondre dans de l'eau moins froide, ou attendre qu'elle soit fondue dans un air moins froid. Et voilà pourquoi les glaçons fondus en partie qui nagent dans un sceau où l'on fait rafraîchir des liqueurs, y ont un si beau poli & tant de transparence, quoiqu'ils fussent tout ternes & tout blanchâtres lorsqu'ils y avoient été apportés. On se convaincra encore aisément de ce que je viens de dire, si l'on compare la superficie de la glace nouvellement formée avec celle d'une glace de plusieurs heures ou de quelques jours, ou simplement la superficie de celle-ci avec la superficie de ses cassures. Plus il y aura de temps qu'elle est formée, plus sa surface aura eu celui de se hérissier de particules qui s'y redressent, & qui en diminuent la transparence.

Les glaces du Groenland & de la plupart des mers du nord, sont fort différentes des nôtres, & par la couleur, & par le moins de transparence. Elles* *sont d'un très-beau*

* Fréd. Martens, *ubi sup.*

bleu, un peu tirant sur le verd, semblable à la couleur du vitriol de Chypre, & seulement un peu plus transparentes que le vitriol, & moins nettes que la glace de notre climat, à travers laquelle on peut presque voir. Que ce soit d'imagination ou par ouï-dire, Virgile ne nous peint pas autrement les glaces du nord & les zones polaires;

Cæruleâ Glacie concretæ atque imbribus atris *.

Cette différence des glaces du Groenland avec les nôtres n'est peut-être qu'apparente, & pourroit bien venir en partie de la condensation & de l'épaisseur de l'air du climat: car l'air étant bleu de sa nature, comme on le juge par la couleur du ciel & par la teinte que prennent les objets fort éloignés, il est évident que plus on verra de parties d'air sous un égal volume, plus sa couleur naturelle deviendra sensible. Or une atmosphère d'un bleu plus foncé qui se réfléchit sur les glaces des mers, ou à travers laquelle se filtrent des rayons de lumière plus bleuâtres, doit les charger d'autant plus de cette couleur. Mais je doute que cette raison soit suffisante pour expliquer ce bleu de vitriol & verdâtre dont parle notre Voyageur. Si ce qu'il en dit est exact, comme il y a lieu de le croire, il faut avoir recours, ce me semble, à quelque chose de plus prochain &

* Georg. lib. 1.

de plus réel, comme, par exemple, à la qualité du fond du bassin de ces mers, & des matières qui s'en détachent & qui se mêlent avec leurs eaux, ou enfin à la couleur propre de ces eaux mêmes. Sur quoi nous n'avons rien d'assez positif pour pousser plus loin nos conjectures. Indépendamment de tout cela, la glace des liqueurs salées est plus foncée & plus opaque que celle d'eau pure. Or nous avons vû dans le chapitre précédent, que la glace de ces mers étoit *salée comme la mer même*.

Les glaces des mers du nord ont encore ceci de particulier, que lorsque le temps est pluvieux *, le bleu de la partie supérieure qui est exposée à l'air devient plus pâle, & que vûes de dessous l'eau elles paroissent vertes.

L'eau douce étant moins bleuâtre, & en même temps plus légère que l'eau salée de la mer, il doit souvent arriver, sur-tout près des côtes où aboutissent les rivières, que la partie supérieure des glaces soit moins colorée que l'inférieure. Le dessus du glaçon doit aussi moins participer de la couleur du dessous, lorsque le temps est sombre, & que le peu de lumière qui est répandu dans l'eau & dans l'air en favorise moins la réfraction.

Mais d'où vient la couleur verdâtre de la partie qui est sous l'eau? Elle peut dépendre de bien des circonstances. L'eau de

* Fréd. Martens, *ubi sup.*

la mer, comme la teinture du bois néphrétique & plusieurs autres liquides, réfléchit quelquefois des rayons de lumière d'une couleur, & en rompt ou en laisse passer d'autres d'une couleur différente. Cette propriété de réfléchir certains rayons & de donner passage à d'autres n'est pas particulière aux liquides, elle se trouve en quelques corps durs; l'or même, le plus dense & le plus pesant de tous les métaux, qui ne réfléchit que les rayons de couleur jaune, en laisse passer au travers de ses pores de bleus & de verts, comme on l'éprouve lorsqu'après l'avoir réduit en feuilles très-minces on le place entre l'œil & la lumière (a). De même l'eau de la mer qui réfléchit d'ordinaire par sa superficie la couleur bleue, rompt & réfléchit souvent dans l'intérieur la couleur verte, & nous avons là-dessus une expérience curieuse qu'on trouve rapportée dans l'Optique de M. Newton (b). *M. Halley*, dit-il, étant descendu au fond de la mer dans une cloche en un temps fort clair & fort serein, remarqua que les rayons du Soleil qui passaient par une petite fenêtre vitrée de la cloche, & qui donnoient sur une de ses mains, après avoir traversé plusieurs piques d'eau qu'il avoit sur la tête, lui faisoient paroître la partie supérieure de la main d'un rouge couleur de rose, pendant

(a) Newton, *Opt. part. II, Prop. X.*

(b) *Ibid.*

que le côté opposé, ou la partie inférieure, paroïssoit teinte de verd par la lumière que les eaux de dessous y réfléchissoient.

Peut-être n'en faudroit-il pas davantage pour expliquer la couleur verte du dessous des glaces du nord vû à travers l'eau ; mais les Auteurs de qui nous tenons ce fait *, y ajoutent cette circonstance, que les glaces paroissent telles dans les temps pluvieux ; & aussi qu'il y a des temps où les eaux de ces mers paroissent jaunes à ceux qui s'y plongent. Or la glace étant bleue, elle doit paroître verte à ceux qui la regardent au travers d'une eau jaune ; puisque, comme on fait, le bleu & le jaune mêlés ensemble produisent du verd.

Mais cette variété de couleurs des glaces du nord n'est rien en comparaison de celle qu'on aperçoit lorsqu'on approche des côtes du Groenland & de la nouvelle Zemble, & qu'on jette les yeux sur les montagnes voisines couvertes de neige & de glace. La gelée & le dégel à quoi ces montagnes sont alternativement exposées dans la saison où l'on voyage dans ces pays-là, c'est-à-dire, dans l'été, la fonte des glaces & les pluies y ont creusé des ravins qui paroissent comme des bandes noires cousues depuis leur sommet jusqu'à leur pied ; à côté se trouvent souvent de grandes traînées d'une neige qui n'a point

* Les mêmes que ci-dessus, *Recueil des voyages au Nord*

fondue, & dont la blancheur est relevée par ce noir; tout auprès, des glaces minces & claires ne laissent voir que le verd des buissons qu'elles couvrent; dans un enfoncement elles sont bleues, parce qu'elles sont plus épaisses; un peu plus loin réduites en poussière & répandues sur les feuilles des arbrustes, elles rompent & réfléchissent des rayons de lumière avec toutes les nuances de l'arc-en-ciel; ou quelquefois aussi polies que des miroirs, elles renvoient à l'œil autant d'images d'un Soleil languissant qui ne quitte point l'horizon, & fournissent par-là l'explication la plus sensible qu'on puisse donner de nos Parhélies (a).

CHAPITRE VIII.

De la réfraction de la Glace.

IL est difficile de savoir la véritable réfraction de la glace ordinaire, parce que les grosses bulles d'air qui s'y trouvent mêlées en grande quantité empêchent de voir au travers; mais on a observé (b) que la glace, lorsqu'elle n'a pas beaucoup de ces grosses bulles, & qu'elle est assez transparente pour

(a) C'est ce coup d'œil qu'on a voulu représenter dans la planche du frontispice de ce livre.

(b) M. de la Hire, *Mém. de l'Acad.* 1693, Tome X, p. 252.

en faire l'expérience, donne une réfraction un peu moindre que celle de l'eau dont elle est formée ; c'est-à-dire, que si un rayon de lumière qui tombe très-obliquement de l'air sur l'eau, se détourne de sa surface & vers la perpendiculaire d'une quantité ou d'un angle de 41 degrés 25 minutes, qui est la mesure de la réfraction ordinaire de l'eau, un rayon qui tombera pareillement sur la glace, ne se détournera pas tout-à-fait tant, ou ne s'approchera de la perpendiculaire que d'un angle, par exemple, de 39 ou 40 degrés.

Ce phénomène est tout-à-fait conforme à la théorie générale des réfractions : car il paroît par un grand nombre d'expériences très-exactes, que presque tous les corps donnent une réfraction proportionnée à leur pesanteur ; & cela est si vrai à l'égard de l'eau, que la même eau ne donne pas toujours la même réfraction ; chaude, elle en donne moins que froide, parce qu'alors elle est moins pesante à proportion de son volume. Or après ce qui a été prouvé de la légèreté de la glace, ou de son volume par rapport à l'eau dont elle est formée, il est clair qu'elle doit donner une réfraction moindre que celle de l'eau.

La quantité de la réfraction de la glace prise en un autre sens, c'est-à-dire, en tant qu'elle laisse passer plus ou moins de rayons rompus, est proportionnelle à sa trans-

parence. Ainsi lorsqu'on lui a donné la figure sphérique, par exemple, au moyen de quelque vaisseau concave où elle a été formée, & qu'on en a poli la superficie en y jetant dessus un peu d'eau tiède, elle rassemble les rayons du Soleil presque en aussi grande quantité, & brûle avec presque autant de force que les meilleures loupes de verre. J'en ai fait l'expérience avec de la glace d'une eau que j'avois fait bouillir & geler alternativement deux ou trois fois pour en mieux évacuer l'air; & l'ayant réduite en une lentille convexe des deux côtés, dont le disque avoit 4 pouces de diamètre, & faisoit partie d'une sphère de $3\frac{1}{2}$ pouces de rayon, j'en ai allumé de la poudre à canon au Soleil du mois de Janvier.

Cette expérience, qui est fort connue aujourd'hui, ne pourroit paroître merveilleuse par l'opposition de la glace & du feu, qu'à ceux qui ne feroient point attention que ce n'est nullement la qualité de la matière, en tant que plus ou moins chaude ou froide, qui augmente ou qui diminue la force des rayons solaires qu'elle laisse passer à travers pour brûler les corps combustibles; mais seulement sa forme extérieure, plus ou moins propre à rassembler ces rayons. C'est ainsi que les plantes sont quelquefois brûlées par l'eau même, & que leurs feuilles picotées de points noirs en indiquent la brûlure, lors-

qu'après la gelée ou un brouillard épais le Soleil vient à donner obliquement sur les gouttes sphériques dont elles demeurent couvertes: car ce sont autant de petits miroirs ardens par réfraction, dont le foyer n'étant qu'à une très-petite distance de leur surface (*a*), ne peut manquer de porter en plusieurs endroits assez précisément sur la plante pour l'y brûler.

CHAPITRE IX.

Des figures de la Glace, & de la Palin-génésie.

L'EAU prend d'ordinaire en se glaçant la figure du vaisseau où elle est contenue; mais il se trouve quelquefois dans les rivières & dans les mers des glaçons façonnés d'une manière très-singulière, & qui approchent beaucoup de certains ouvrages de l'art. Il seroit, je crois, inutile d'en rechercher la cause; elle dépend presque toujours d'un enchaînement de circonstances qu'on ignore, & qu'il n'est pas possible de déterminer positivement, quoiqu'on les puisse conjecturer en général. L'habile & exact Navigateur (*b*) que j'ai cité plusieurs fois dans cet ouvrage

(*a*) Au $\frac{1}{4}$ à peu près de leur diamètre.

(*b*) Fréd. Martens, *ubi sup.*

dit avoir vû en ce genre dans la mer glaciale un petit chef-d'œuvre d'architecture ; c'étoit une pièce de glace qui ressembloit à une église il y avoit des piliers, des fenêtres en voûte & des portes régulières ; mais les portes & les fenêtres paroissoient comme remplies de chandelles de glace , & dedans on y voyoit un fort beau bleu. Cette pièce de glace étoit plus grande qu'un vaisseau , & un peu plus haute que la poupe. Il remarqua aussi vers le Spitzberg de la glace qui étoit toute en boucle , & qui ressembloit tout-à-fait à du sucre candi , & plusieurs autres figures semblables, dont la principale cause ne vient, à mon avis , que des filets d'eau douce qui ne sont pas encore bien mêlés avec l'eau de la mer , qui se gèlent les premiers , & qui sont les derniers à se fondre.

Outre ces fortes de figures , il y en a d'autres qui paroissent légèrement ciselées sur la superficie de la glace , ou comme les premiers traits d'un dessein dont j'ai fait le détail & expliqué la génération dans la première Section. J'y reviens à présent pour dire un mot de l'erreur où ces figures ont jeté quelques personnes qui n'ont pas fait attention à la cause qui les pouvoit produire.

Il y a eu des Chymistes qui ont cru qu'en échauffant un peu les cendres d'une plante ou d'un animal selon certaines règles & avec certaines précautions , ces cendres devoient s'enfler & s'élever en une fumée tout-à-fait

semblable par la figure & même par la couleur à la plante ou à l'animal. C'est à cette espèce de résurrection ou de nouvelle naissance qu'on donna d'abord le nom de *Palingénésie* : ensuite on se persuada qu'en faisant geler une lessive des cendres d'une plante on verroit la figure, l'image, ou, comme parlent ces Auteurs, *l'idée* de cette plante fidèlement tracée sur la superficie de la glace ; autre palingénésie qui n'a pas moins fait de bruit que la première.

Le fameux Boyle rapporte qu'ayant fait dissoudre dans l'eau un peu de verd-de-gris, qui contient beaucoup de parties salines du marc de raisin, dont on se sert pour corroder le cuivre, & ayant fait geler cette eau avec de la neige & du sel, il avoit vû, non sans étonnement, de petites figures de vigne sur la superficie de la glace.

Le Chevalier Digby dit qu'ayant fait une pareille épreuve sur de la lessive de cendres d'orties, & conformément aux instructions du P. Kircher (*a*), il paroissoit sur la glace quantité de figures d'orties. J'omets cent autres histoires de cette nature, dont on peut voir le détail dans un Auteur plus moderne (*b*)

(*a*) On trouve ce qu'en a pensé cet Auteur dans son *Mundus Subterraneus*, lib. 12. Sect. 4, cap. 5.

(*b*) *Curiosités de la Nature & de l'Art sur la végétation, l'agriculture, &c. nouv. édit. Paris, 1711, par M. de Vallemont*

qui a pris fort à cœur la défense de la palingénésie, & de qui j'emprunte ces deux témoignages, comme les plus authentiques de tous ceux qu'il rapporte pour l'établir.

Les noms de M^{rs} Boyle & Digby m'obligent à ajoûter ici deux ou trois réflexions sur cette matière; car du reste je ne pense pas qu'il y ait beaucoup de témérité à soupçonner que la première formation de la glace, telle que je l'ai expliquée, & sans aucun rapport à la palingénésie, ait été l'unique source de tout ce qu'on en raconte de merveilleux. J'observe donc,

1.^o Que les figures de la superficie de la glace sont & plus fréquentes & plus visibles, lorsque l'eau n'est pas pure, & sur-tout lorsqu'on y a dissous quelque sel, tel que celui qui est contenu dans les cendres des plantes. Presque toutes les lessives, l'urine, du limon seulement, & en général tout ce qui étant mêlé avec l'eau retarde sa congélation, produit ordinairement des figures bizarres & singulières. Dans quelques-unes de mes expériences, où il ne s'agissoit nullement du sel des plantes, le hasard m'a fait rencontrer des figures qui auroient enchanté les partisans de la palingénésie.

2.^o Les végétations métalliques si connues dans la Chymie, produisent quelquefois en relief des figures aussi parfaites en leur genre qu'aucune de celles qu'on ait vûes sur la

glace. Ce qu'on appelle l'*Arbre de Diane* ou l'*Arbre Philosophique* est, comme on fait, un argent amalgamé qui s'élève dans une bouteille en forme de petit arbrisseau avec ses feuilles & ses fruits; on fait quelque chose de semblable avec du fer & avec plusieurs autres matières que le hasard a fournies plusieurs fois aux Chymistes *. Je ne crois pas cependant que personne pense que l'argent & le fer, ou ces autres matières, prennent ces figures, pour avoir été autrefois ces mêmes arbres qu'ils représentent.

3.^o Enfin la plupart des Auteurs qui disent avoir fait l'expérience de la Palingénésie, & sur-tout les Auteurs que j'ai nommés, n'ont pû de leur aveu la rencontrer qu'une fois après bien des tentatives inutiles; &, ce qui est à remarquer, ni la même lessive, ni une lessive nouvellement préparée, ne leur ont redonné le même phénomène. Aussi ont-ils plutôt regardé ce qu'ils en avoient vû comme un effet du hasard, que comme une suite nécessaire de la prétendue inclination à se rejoindre, attribuée aux parties organiques des corps après leur désunion; & je me trompe fort, si ce n'est-là ce que vouloit dire le Chevalier Digby, d'ailleurs assez enclin & assez intéressé à soutenir les effets

* Voy. Mém. de l'Acad. 1692, T. X, pp. 171 & 405. 1707, pp. 299, & 1710, p. 426, 435; &c.

sympathiques, quand il ajoute, après l'expérience rapportée ci-dessus, *je prenois grand plaisir à contempler ce jeu de la nature.* M. Boyle va plus loin; il craint que l'imagination de ceux qui disent avoir vû de pareilles figures sur la glace, en conséquence de la palingénésie, n'ait disposé leurs yeux en faveur du phénomène, & il rapporte tous ces faits dans un article de ses *Essais physiologiques*, où il traite des expériences qui ne réussissent point*.

C H A P I T R E X.

De l'évaporation de la Glace.

Nous avons remarqué au commencement de cette Dissertation, que l'évaporation des liquides devoit être en raison composée inverse de leurs pesanteurs spécifiques, & directe de leurs fluidités, de leur mouvement intestin & des surfaces qu'ils présentent à l'air libre. De ces quatre circonstances il n'y a guère que la première, la seconde & la quatrième qui soient applicables aux solides; savoir, la pesanteur spécifique de leurs parties, la dureté & la ténacité, au lieu de la fluidité, & la grandeur des surfaces présentées à l'air.

* *Tentam. Phys. De experimentis quæ non succedunt.*

Il y a grande apparence que tous les solides s'évaporent plus ou moins, & perdent par-là une partie de leur substance: le choc de l'air en emporte tôt ou tard quelques particules imperceptibles. Il en est peu du moins qu'on puisse excepter de cette loi générale. La déperdition de matière se décèle même dans quelques-uns de ceux qui après bien des années conservent sensiblement le même poids, tels que le musc & l'assa-foetida; car on ne peut douter que l'odeur qui s'en exhale continuellement, & qui remplit de très-grands espaces, ne consiste en des corpuscules qui faisoient partie de ces corps. Je ne voudrois pas en exclurre ce qu'une matière subtile ou éthérée quelque qui circule dans leurs pores en entraîne au dehors, & qu'ensuite l'air emporte & répand bien loin. Mais cela revient au même que ce qu'il enlève de leur superficie par le choc, & constitue le total de leur évaporation, comme nous l'avons considérée dans les liquides. Cependant il est certain en général, que les solides se dissipent moins que les liquides, par la circonstance, que l'évaporation de ces derniers est d'autant moindre, toutes choses d'ailleurs égales, qu'ils ont moins de fluidité, & que la solidité, ou ce que nous appelons la dureté, n'est à la rigueur qu'une moindre mollesse, & la mollesse qu'une moindre fluidité.

Il est donc assez étonnant que la glace s'évapore autant ou plus que l'eau dont elle a été formée.

Pour voir bien vite l'évaporation de la glace, il ne faut qu'en exposer à l'air quelques morceaux pointus & tranchans ; on trouvera bien-tôt leurs pointes & leurs arêtes émouffées, & leur poids sensiblement diminué.

L'évaporation de la glace est d'autant plus grande que le froid est plus violent. En 1716, où il y eut des jours dont le froid fut aussi excessif que dans l'hiver de 1709, je trouvai quelquefois la glace exposée à l'air & au vent de nord diminuée de plus de la cinquième partie de son poids en vingt-quatre heures. Selon M. Gauteron * qui en fit des expériences à Montpellier en 1709, l'évaporation de la glace alla une fois jusqu'au quart de son poids en un pareil intervalle, savoir, à 6 grains par heure, sur une once d'eau exposée à la gelée. Ce qui fait, selon lui, une évaporation plus

* Médecin, Secrétaire de la Société Royale des Sciences de Montpellier. Ses expériences furent envoyées à l'Académie des Sciences, & imprimées à la fin du volume des Mémoires de 1709. On trouvera dans l'Hist. de l'Acad. de 1741, p. 17, un phénomène qui a quelque rapport à celui-ci ; savoir, que de la terre qui est imbibée d'eau, & qui fait en tout une masse plus solide & plus pesante que l'eau, fournit une évaporation plus abondante que l'eau toute pure ; d'après les expériences de M. Bazin.

prompte que celle de l'eau dans un temps moyen entre le chaud & le froid.

Pour donner raison de ce phénomène, je remarque que la glace ayant presque toujours des rides, des traits, des inégalités & une bosse sur sa superficie, elle a par-là plus de surface que l'eau dont elle est formée. D'ailleurs l'eau qu'on expose à la gelée dans des verres, des gobelets & semblables vaisseaux, qui sont souvent plus larges vers l'ouverture que par le bas, s'en détache ordinairement en peu d'heures, par l'expansion des bulles d'air qui y sont renfermées, & la glace monte un peu, en laissant tout autour entr'elle & le vaisseau, un vuide, qui s'agrandit toujours de plus en plus; autre circonstance, qui fait que la glace présente plus de parties à l'air; ainsi, quant à sa surface, l'eau doit perdre plus de parties par l'évaporation, étant gelée, qu'étant liquide.

Il ne reste donc que la dureté de la glace, qui puisse rendre son évaporation plus difficile que celle de l'eau; & je ne doute pas qu'en effet les petits flocons d'air qui heurtent contre la glace, n'y trouvent plus de résistance que contre l'eau; ils ont sans doute plus de peine à en détacher des particules, leur choc est souvent inutile; mais aussi lorsque l'air fait tant que d'emporter quelques pièces de dessus la glace, elles sont

apparemment plus grosses que les parties qu'il emporte de l'eau, en conséquence de ce plus grand effort. Il doit aussi ordinairement entraîner plusieurs petits éclats avec la particule de glace, contre laquelle il a frappé, & ébranler toutes celles des environs. En quoi il se trouve encore favorisé par l'effort que les petites bulles d'air qui sont près de la surface font pour se dilater: de sorte que si l'on ajoute ces circonstances à celles d'une plus grande surface, & de la légèreté de l'eau lorsqu'elle est glacée, il ne sera pas mal-aisé de comprendre comment son évaporation pendant une forte gelée, peut égaler ou surpasser celle de l'eau ordinaire, dans un temps moyen entre le grand chaud & le grand froid.

N'oublions pas ici ce que nous avons déjà observé dans cette même Section*, que la tendance continuelle des particules de la glace à se redresser, ou à s'écarter en divergence les unes des autres sous l'angle de 60 degrés, s'exerce bien plus aisément à la superficie où rien ne s'oppose à leur effort, que dans l'intérieur; ce qui doit rendre cette superficie & moins transparente, comme elle l'est en effet, & moins polie. L'air enlèvera donc d'autant plus les parties de la glace, qu'il y aura plus de temps que la glace sera formée, & qu'elle

* Chap. VII, p. 292.

l'aura été par un plus grand froid ; puisque ces circonstances favorisent de plus en plus la disposition de ces particules à se détacher de la masse totale. Toutes les autres causes de l'évaporation de la glace se compliqueront donc avec celle-ci ; & je doute que sans elle on pût donner une raison suffisante de cette grande évaporation à l'égard d'un corps si dur & si solide, & d'autant plus grande, qu'il est plus dur & plus solide.

CHAPITRE XI.

De la Neige.

LA neige, que nous n'avons à considérer ici qu'en qualité de glace toute formée, n'est en effet, comme nous l'avons déjà dit, qu'un amas de très-petits glaçons, pour la plupart de figure oblongue, de filamens de vapeurs congelés dans la moyenne région de l'air, rameux, & quelquefois assemblés autour d'un centre en forme d'étoiles à six pointes.

Nous avons parlé de ces étoiles (chapitre IX, section I) par rapport à l'angle sous lequel les particules de glace affectent de se joindre entr'elles. Il y a aussi quelquefois de la neige qui semble tenir un milieu entre ces figures régulières & l'amas

informe de petits filets de glace diverse-
ment inclinés, dont nous avons encore fait
mention; savoir, lorsqu'il se trouve dans
quelques-uns de ses flocons, comme de
petits bouts de plume dont les barbes paral-
lèles font un angle constant, & sensiblement
de 60 degrés avec la tige. Ce ne sont peut-
être que des fragmens de rayons des étoiles
les plus composées dont nous avons donné
la figure. Il tomba de cette neige à Paris
en 1740, & j'y observai cet angle à la
loupe & au microscope après avoir reçu
quelques-uns de ses flocons les plus rares sur
un morceau d'ébène que j'avois fait refroidir
à la gelée. Et je dois avertir qu'une telle véri-
fication à la vûe simple ou avec la loupe,
n'est ni si difficile, ni si incertaine qu'on
pourroit le croire, du moins à l'égard de l'an-
gle de 60 degrés. Car comme c'est celui du
triangle équilatéral, il n'y a qu'à imaginer,
à distance égale du sommet, sur l'une &
l'autre jambe de l'angle qu'on a sous les
yeux, le côté qui lui est opposé, & ache-
ver ainsi le triangle. Si cette ligne feinte,
ou si la distance de ces deux points est
sensiblement égale à la longueur des deux
autres côtés, l'angle donné est sensiblement
de 60 degrés; car le rapport d'égalité est
celui de tous que l'esprit & les yeux aper-
çoivent le plus aisément, & avec le plus
d'exactitude.

Erasme

Erasme Bartholin (*a*) dit avoir vû dans la neige des étoiles pentagonales, & ajoûte que quelques-uns en ont vû d'octangulaires. Mais il n'insiste point sur ces sortes d'étoiles, & n'en fait pas la description : c'est pourquoi nous ne savons point si elles étoient régulières, si elles ne résulsoient pas de la suppression d'une sixième pointe (*b*), ou de l'addition de deux autres, dont mille hasards pouvoient avoir été la cause. Pour moi qui n'ai jamais vû de pareilles étoiles dans la neige, & qui ne sache pas qu'aucun Auteur les ait décrites, j'ai seulement observé quelques-unes de ces radiations irrégulières à la superficie de certaines congélations, &, vrai-semblablement, par le cas fortuit que je viens de dire ; mais j'ai pris garde en même temps que ces rayons surnuméraires, défectueux ou irrégulièrement posés, eu égard aux autres, n'aboutissoient pas exactement au centre commun, tandis que les filets secondaires qui s'appliquoient aux uns & aux autres, comme les barbes d'une plume à sa tige, faisoient toujours exactement avec elle un angle de 60 degrés.

Les étoiles qui ont un globule à leur centre ou aux extrémités de leurs rayons,

(*a*) *Diff. de figura nivis*, p. 4, d'où nous avons pris les figures *A, B, C, D, E*, de la planche II, n.º 5.

(*b*) Comme, par exemple, dans la fig. *D*.

ou en même temps au centre & à l'extrémité des rayons (*a*), résultent de quelques particules de neige fondue, ou d'eau en gouttes qui se sont gelées bien-tôt après. Les filets simples qu'on voit quelquefois répandus dans la neige, & qui ont un semblable globule à leurs bouts (*b*), indiquent manifestement cette formation. Mais quelle complication de mécanique n'exigeront point ces étoiles qui, ayant une étoile pleine ou vuide à leur centre (*c*), se terminent par une seconde dont les six rayons partent de l'intervalle de ceux de la première, & sont eux-mêmes composés de filets qui s'y appliquent comme à leur tige, & toujours sous l'angle de 60 degrés ! Et que sera-ce encore si à l'extrémité de ces rayons prolongés il se trouve des bouquets, des feuillages d'une régularité & d'une symétrie parfaites, je veux dire, qui soient précisément les mêmes à l'extrémité de chacun des six rayons, & toujours composés de filets qui se joignent sous le même angle ! Car il y a de ces étoiles (*d*) & de bien des espèces diffé-

(*a*) Comme *C*, (même planche, num. 5.)

(*b*) Comme *E*. (*c*) Comme *B*.

(*d*) Voy. celles qui furent observées par M. Stocke, *Phil. Transf. num. 464*, en Janvier 1742. Toutes très-chargées, & infiniment différentes par la distribution & par la configuration des parties : les unes de $\frac{3}{4}$, les autres de 1, de $1\frac{1}{4}$ de ligne de diamètre.

rentes, sans que la loi de cet assemblage angulaire reçoive la moindre atteinte de leur variété. Ajoutez que ces différentes espèces ne sont presque jamais confondues dans la même neige, & qu'il n'en tombe que d'une espèce à la fois, soit en différens jours, soit à différentes heures d'un même jour (a): preuve qu'il y a encore ici quelque cause particulière, telle que le degré, la soudaineté ou la lenteur du froid, le temps & le lieu de l'atmosphère où se forme cette neige.

C'est certainement ce que je n'entreprendrai point d'expliquer en détail, ou autrement que par cette même loi dont j'ai fait sentir la nécessité, tant à l'égard de ces phénomènes que de plusieurs de ceux de la glace ordinaire.

La neige, en tant que glace, en a donc toutes les propriétés; mais avec les différences que la contexture & la rareté des parties qui la composent y doivent apporter.

Ainsi elle occupe un beaucoup plus grand volume que la glace. Celle-ci ne donne qu'un 10^{me} ou un 9^{me} de plus que l'eau dont elle a été formée, &, comme nous l'avons déjà dit, la neige qui vient de tomber a 10 ou 12 fois plus de volume que l'eau qu'elle fournit étant fondue. M. Musschenbroek (b) ayant mesuré à Utrecht de la

(a) Comme il arriva de celles de M. Stocke. *Sup.*

(b) *Essai de Physique*, p. 807.

neige qui étoit fort rare & qui étoit en forme d'étoiles, elle se trouva 24 fois plus rare que l'eau : d'où résulte un excès de rareté totale plus de deux cens fois plus grand que celui de la glace par rapport à l'eau. Remarquons aussi en passant que cet excès n'est jamais si marqué que lorsque la neige a plus de ces parties assemblées sous l'angle de 60 degrés, comme l'indiquent ici les figures d'étoiles.

L'évaporation de la neige est si grande, qu'on la voit quelquefois disparaître de dessus la terre en moins d'un ou deux jours par un vent sec, & au plus fort de la gelée lorsque ce qui en est tombé ne se monte qu'à un ou deux pouces d'épaisseur ; ce qui n'est pas mal-aisé à comprendre, la neige présentant au choc de l'air un nombre infini de petites particules de glace presque toutes séparées.

Mais d'un autre côté la neige ne sauroit faire le même effort que la glace pour se dilater, étant déjà toute dilatée à peu près autant que le comporte la tendance angulaire des particules qui la composent ; ni rompre les vaisseaux qui la contiennent, ni résister considérablement à la compression, toutes ces petites aiguilles qui en forment les flocons & qui portent en chevron les unes sur les autres, étant par elles-mêmes très-friables & pouvant aisément être rompues ou entassées.

Il n'est pas étonnant aussi que la neige

considérée en total ne soit point transparente. Elle a tout ce qui constitue le plus directement l'opacité par sa blancheur, ou ce qui revient au même, par la subdivision de ses parties & le nombre infini de petites surfaces différemment inclinées qu'elle présente à la lumière.

Quant à son goût, mes essais ne m'en ont rien appris de remarquable. J'aurois cru qu'il devoit différer sensiblement de celui de la glace ordinaire & de l'eau, par toutes les exhalaisons terrestres dont ses flocons spongieux peuvent se charger en traversant la partie inférieure de l'atmosphère qui en est plus ou moins imprégnée; & je ne doute pas aussi que selon les climats & les circonstances du temps & du sol, la neige n'ait quelquefois des qualités que l'eau commune n'a pas. Mais Thomas Bartholin qui nous a donné un traité de l'usage médicinal de la neige, & qui a, sans doute, examiné cet article avec soin, dit n'avoir remarqué aucune saveur dans la neige qui tombe actuellement; quoique long-temps après, lorsqu'elle a séjourné sur la terre, & qu'elle s'y est tassée, elle y contracte quelque chose de mordicant qui se fait sentir sur la langue. La plupart des habitans de la Norvège ne boivent en hiver que de l'eau de neige fondue.

Quoique la neige ne consiste qu'en de petits filets de glace diversement inclinés les uns

aux autres, on croit communément qu'elle a quelque chaleur qui lui est propre, ou qu'elle est moins froide que la glace. C'est là-dessus que quelques Auteurs ont fondé l'utilité dont elle est pour la végétation des plantes, & l'usage qu'on en fait pour dégeler les membres & les fruits qui ont été gelés par un froid extrême. Sur quoi je n'ai pas assez d'expériences pour en dire mon avis. Mais en attendant, je crois que ce qui a été remarqué ci-dessus * du temps doux qu'il fait quelquefois pendant qu'il tombe de la neige, pourroit bien avoir donné naissance à cette opinion. Car du reste, les observations & les expériences les plus exactes concourent à nous persuader que la glace quelconque, soit de neige, soit d'eau en plus grande masse, a toujours à peu près le même degré de froideur dans l'instant de sa formation, quoique l'une puisse devenir ensuite plus froide que l'autre, & qu'en cette qualité la moins froide puisse être de quelque secours étant appliquée sur les membres ou sur les fruits gelés, comme nous le dirons plus particulièrement dans la dernière Section.

* A la fin du chapitre IX de la Section II.



SECTION IV.

*Des Phénomènes de la Glace dans sa
destruction ou dans sa fonte ,
& du Dégel.*

CHAPITRE PREMIER.

De la fonte de la Glace en général.

LA Glace doit se détruire par des causes contraires à celles qui l'ont produite. C'est l'affoiblissement & l'effusion de la matière subtile ou éthérée engagée dans les interstices des parties intégrantes de l'eau qui font que l'eau devient glace ; ce fera une augmentation de quantité , de mouvement & de ressort de cette même matière qui rendront à l'eau sa liquidité.

La cause générale pour liquéfier l'eau glacée , de même que pour durcir & congeler celle qui est liquide , n'agit que par le contact des corps , soit solides , soit liquides ou fluides qui environnent la glace , selon qu'ils sont plus ou moins chauds , & qu'ils communiquent plus ou moins de mouvement & de ressort à la matière éthérée qui pénètre dans les interstices de la glace ou de ses parties intégrantes.

Les corps solides appliqués sur la glace ,

ou sur lesquels la glace est appliquée, agissent avec d'autant plus de force & de promptitude, toutes choses d'ailleurs égales, qu'ils sont plus solides ou plus denses, la matière éthérée y étant plus resserrée dans un même espace, & leur contact avec la glace se faisant alors par un plus grand nombre de points. Ainsi du métal moins froid que la glace, ou dont la température actuelle est au dessous du froid de la congélation, étant appliqué sur de la glace, la fera fondre plutôt que du bois ou de la laine, quand même le bois ou la laine, ou tel autre corps, seroient plus chauds que le métal.

On fait là-dessus une expérience qui le prouve manifestement. On prend deux morceaux de glace sensiblement égaux & à peu près de même figure; on met l'un sur une assiette d'argent, par exemple, & l'autre sur la paume de la main; le premier est plutôt fondu que le second. J'ai vû faire cette expérience, & je l'ai faite. M. Haguenot l'a répétée & vérifiée depuis avec plus d'appareil devant la Société Royale de Montpellier *. Il fit plus, il compara l'efficacité de divers métaux à cet égard, de l'or, du cuivre, du plomb, de l'étain, du fer, de l'acier, & il trouva constamment que la glace fondoit plus vite sur le cuivre que sur tous les

* Extr. de l'Ass. publ. de la Soc. R. de Montp. du 22^{me} Déc. 1729.

autres métaux, & sur un fer à repasser, plus vite que sur un fer ordinaire. Selon nos principes, l'or auroit dû l'emporter; mais qui ne voit qu'il ne s'agit pas ici de ces petites différences prises à la rigueur, & que dans l'explication générale que nous donnons de ce phénomène, nous ne prétendons point exclure les exceptions qui peuvent naître de la nature particulière de chacun de ces corps? Le cuivre, & sur-tout le cuivre jaune, est celui de tous les métaux qui se dilate le plus par la chaleur*, & c'en est assez pour présumer qu'il est celui de tous qui contient le plus de matière subtile ou ignée, ou celui dans lequel elle a le plus de mouvement. Le fer à repasser, où la glace fond plus vite que sur un fer ordinaire, se trouve peut-être dans le même cas par l'usage qu'on en fait; mais il est aussi communément plus lisse que le fer ordinaire, comme on l'entend sans doute de celui-ci; ce qui ne peut manquer de produire une application plus prompte, un contact plus complet de la glace qu'on met dessus. Du reste nous ignorons le rapport exact de température entre les métaux, jusqu'à ce qu'on ait trouvé le thermomètre dont j'ai parlé dans le chapitre V de la Section précédente.

L'efficacité des liquides & des fluides pour fondre la glace, doit se régler sur les

* Mussch. *Essai de Phys.* p. 453.

mêmes principes en général, & de plus sur le mouvement intestin, sur la grosseur & la solidité des parties intégrantes qui les composent. C'est par toutes ces circonstances qu'une pièce de glace est beaucoup plus de temps à fondre près du feu, à une distance où l'on auroit de la peine à tenir la main, que dans de l'eau tiède. Car la matière subtile qui se meut avec les parties intégrantes de l'eau, & qui leur communique toute leur agitation, les pousse continuellement contre le glaçon qui y est plongé, & à l'aide de ces grosses masses, par rapport à ses molécules, elle met en mouvement plusieurs particules de glace, elles les sépare, & s'y fait un passage; tout de même qu'une rivière abat un pont par le choc des glaçons & des troncs d'arbres qu'elle pousse contre lui, tandis que la simple impétuosité de l'eau auroit été incapable de l'ébranler.

L'air fait quelque chose de semblable sur la glace, mais son action est très-inférieure à celle de l'eau; parce qu'il n'est composé que de petits flocons de filets ou de lames peut-être huit à neuf cens fois plus légères qu'un pareil volume d'eau, ce qui revient au même que si ces filets ou ces lames étoient huit à neuf cens fois plus petites qu'elles ne sont. D'ailleurs l'air affoiblit apparemment beaucoup plus la matière subtile à cet égard, par ses spirales & ses

rameaux, qu'il ne lui aide par la grosseur des particules qui le composent; car tout le reste étant égal, un morceau de glace qui est 6 minutes 24 secondes à se dégeler dans l'air libre, n'emploie que 4 minutes à se fondre dans la machine du vuide; c'est-à-dire en général, que la fonte de la glace y est d'un tiers plus prompte que dans l'air *.

CHAPITRE II.

Que la glace se fond beaucoup plus lentement qu'elle ne s'est formée; & pourquoi.

LE fait est certain; tout le monde sait que telle glace qui se sera formée en cinq ou six minutes à l'air d'une forte gelée, sera plusieurs heures, & quelquefois des jours entiers à se fondre étant transportée dans un lieu moins froid, & où la même eau se maintenoit auparavant dans son état de liquidité. L'utile invention des glaciers n'est fondée en partie que sur ce principe; car il s'en faut bien qu'à l'endroit le plus profond du creux qu'on fait en terre pour y conserver la glace, ni la terre humide, ni les filets d'eau qui pourroient s'y ren-

* Expérience faite & répétée plusieurs fois par M. Homberg. *Mém. de l'Acad.* 1693, Tome X, p. 265.

contrer, ne soient toujours à portée de s'y glacer, en été sur-tout, & dans les climats un peu chauds où les glaciers sont de plus grand usage.

Si l'on suppose, comme nous avons fait par manière d'exemple dans la première partie de cet ouvrage *, que la congélation de l'eau arrive par des diminutions de mouvement de la matière subtile intérieure, selon quelque progression, telle que 6, 12, 24, 48, &c. dont chaque terme réponde à une minute de temps, pendant que la matière subtile extérieure ne diminue que d'un degré à chaque minute; si, dis-je, l'on suppose cet ordre dans la formation de la glace, il ne suffira pas de le renverser pour exprimer celui qu'elle garde en se fondant: car le même degré de chaleur, ou de mouvement de la matière subtile, qui entretenoit l'eau dans son état de liquidité, doit avoir bien de la peine à le lui rendre, quand elle l'a une fois perdu; & telle augmentation de mouvement peut bien ne pas produire la fonte de la glace, qu'une pareille diminution de mouvement aura formée. Ce que plusieurs voyageurs rapportent des prodigieux monceaux de glace que l'on trouve au delà du Cercle polaire, & qu'ils jugent être aussi anciens que le Monde, confirmeroit notre théorie sur ce sujet: car il

pourroit se faire que les étés de ces climats ne seroient jamais capables de fondre toute la glace que les hivers y auroient amassée.

Nous n'en tirerions pourtant pas la conséquence qu'en a tirée un savant Anglois * qui écrivoit vers le milieu du siècle passé, & qui ayant adopté l'opinion des glaces perpétuelles autour des Poles, les fait monter si haut, qu'il en déduit la figure de la Terre sensiblement alongée sur son axe. C'est la raison qu'il donne de l'apparence elliptique de l'ombre terrestre sur le disque de la Lune, dans deux éclipses, dont l'une fut observée par Tycho-Brahé, & l'autre par Képler. Mais tout cela pêche par bien des endroits. On fait aujourd'hui, & nous l'avons déjà remarqué, que les mers les plus glaciales autour du Pole ne sont telles qu'au près des côtes, & jusqu'à vingt ou vingt-cinq lieues en mer. Ainsi il ne faut pas imaginer cette protubérance des glaces comme uniformément étendue sur toute cette partie du globe & comme capable d'y produire une courbure elliptique, mais plutôt comme des tas répandus çà & là. Et ces tas ou ces monceaux de glace immenses, si l'on veut, & très-immenses pour les navigateurs qui les rencontrent sur leur chemin, que pourroient-ils être autre chose

* Childrey, *Hist. des singularités d'Angleterre, d'Ecosse & du pays de Galles*; Province de Caernarvon.

que de petites rugosités insensibles sur la totalité du Globe, & plus encore sur les bords mal terminés de son ombre dans les éclipses lunaires. Ceci n'a d'ailleurs aucun rapport avec la fameuse question de la figure de la Terre, qui ne fut mue qu'une vingtaine d'années après, & qui est fondée sur des principes de Statique tout différens.

Mais revenons à notre calcul sur la fonte de la glace.

Il est bien plus aisé à la matière subtile intérieure, de s'échapper d'entre les parties intégrantes du liquide, ou d'y perdre une partie de son ressort, pendant qu'elle les tient séparées, que de s'y glisser, ou de recouvrer le ressort perdu, après que leurs surfaces se sont appliquées les unes contre les autres, & que plusieurs de ces parties ne lui laissent aucun passage pour les diviser & pour vaincre la compression de la matière subtile extérieure qui entretient leur union. En suivant donc l'hypothèse précédente, selon laquelle la diminution d'un degré de mouvement dans la matière subtile extérieure pendant la première minute, a produit une diminution de 6 degrés dans la matière subtile intérieure de l'eau, on doit concevoir que l'augmentation d'un degré de mouvement dans la matière subtile extérieure pendant la première minute, ne produira peut-être pas une 1000^{me} partie de degré de mou-

vement sur les particules de la glace, & ainsi de suite, selon telle progression qu'on jugera la plus convenable. Je dis sur les particules de la glace, & non sur la matière subtile intérieure; parce que, comme je viens de le remarquer, celle-ci pourroit recevoir beaucoup de mouvement de la première, sans qu'elle eût pourtant encore assez de force pour désunir des surfaces qui ne lui permettent quasi aucun passage. Je crois qu'il faut presque toujours que la matière subtile ébranle les particules de la glace par son choc, avant que de pouvoir s'insérer entr'elles; & les molécules de la matière subtile étant d'une petitesse comme infinie, par rapport aux parties intégrantes de la glace ou de l'eau, elles ne sauroient faire cet ébranlement que par leur grand nombre, par une extrême agitation, & dans un temps considérable.

CHAPITRE III.

De l'ordre dans lequel les parties de la glace se fondent.

LA glace commence à se former par les bords & par la surface de l'eau; elle commence de même à se détruire par ses bords, par ses pointes, ses angles solides,

& par ses arêtes lorsqu'elle en a, & ensuite par toute sa surface exposée à l'air. Ainsi la fonte de la glace n'est pas absolument l'inverse de la congélation, puisqu'elle commence à fondre aux mêmes endroits par où elle avoit commencé à se former ; mais elle l'est à d'autres égards, puisqu'à sa surface, par exemple, les dernières parties qui s'y étoient gelées sont les premières à fondre, & que les filets de glace par où elle avoit commencé sont ordinairement ce qui s'y fond le plus tard, par cela même que c'en étoient les parties les plus disposées à la congélation, & réciproquement les moins disposées après cela à la fonte.

On aperçoit d'abord sur la superficie de la glace une espèce de sueur qui la rend plus terne & moins transparente qu'elle n'étoit auparavant ; parce qu'elle consiste en plusieurs gouttelettes d'eau ou de vapeurs qui réfléchissent diversement la lumière. Dans peu de temps ces particules d'eau augmentant en nombre & de grosseur, & venant à se joindre, forment de petits filets ou des traînées d'eau, & ruissellent de tous côtés plus ou moins uniformément en ligne droite, courbe ou tortueuse, selon que la superficie de la glace étoit plus ou moins unie, & plus ou moins de niveau, ou diversement inclinée. Lorsque la diminution du froid est prompte & de plusieurs degrés par rapport à

celui de la congélation, & accompagnée d'un vent humide, la superficie de la glace prend bien-tôt le plus beau poli & toute sa transparence, parce que l'eau qui coule abondamment de toutes ses surfaces en enlève toutes les rugosités, en remplit tous les petits creux formés par les bulles d'air, & y répand par-tout comme un vernis clair & limpide, ainsi que nous l'avons expliqué ci-dessus en parlant de la transparence de la glace.

Dans tous ces cas & lorsque la glace ne nage point dans l'eau qui provient de sa fonte, ou que cette eau peut s'écouler par les côtés, il succède au poli de ce qui reste à fondre, des rainures, des cavités çà & là, qui font de la glace un corps raboteux comme une pierre ponce, une espèce de neige à demi-fondue. Car la glace n'étant point d'une égale consistance dans toutes ses parties, celles qui sont les moins compactes fondent les premières, & selon que par mille circonstances elles se trouvent plus ou moins abreuvées de l'eau qui coule ou qui séjourne plus ou moins dans un endroit que dans l'autre. C'est sous cette forme que la glace achève ordinairement de se détruire ou de se fondre.

Tous ces accidens, qu'il est impossible de ramener à rien de constant, font qu'il est très-rare que les filets par où la glace

commence à se former, & les figures qui en résultent, se manifestent dans la fonte. Le hasard seul m'en a fourni quelques exemples. Cependant lorsque la glace ne consiste qu'en une pellicule très-mince, lorsque ce n'est qu'un peu d'humidité qui s'est congelée sur une surface unie, il n'est pas si extraordinaire d'y apercevoir quelques-uns de ces filets qui sont les derniers à fondre, & même les angles & les figures qu'ils forment entr'eux, les particules de glace qui remplissoient leurs intervalles, & qui les unissoient, ayant fondu ou s'étant évaporées les premières.

Enfin il paroît quelquefois dans ce dernier cas des figures tout-à-fait différentes de celles que nous avons observées dans la formation de la glace; mais c'est ce qui fera le sujet d'un des chapitres suivans.

CHAPITRE IV.

Du Dégel.

L'ADOUCCISSEMENT qui résout les glaces & les neiges dans tout un pays, ce relâchement général du grand froid, qu'on appelle proprement Dégel, arrive par des causes toutes contraires à celles de la gelée. Le dégel est en cela plus parfaitement l'inverse de la gelée que la fonte particulière de la

glace ne l'est de la congélation. Il suffira donc de se rappeler les causes générales & particulières de la gelée exposées dans la première partie de cette Dissertation, & d'y opposer leurs contraires pour expliquer le phénomène du dégel. Le retour du Soleil vers notre hémisphère, ses rayons plus directs, moins d'atmosphère & de vapeurs qu'ils auront à traverser, l'affaïssement ou la précipitation des corpuscules nitreux & salins répandus dans l'air, les vents chauds ou tempérés & humides qui viennent des régions du midi, & plus que tout le reste le relâchement des parties extérieures du terrain par une sortie plus abondante des vapeurs intérieures qui émanent du fond de la terre ou du centre du Globe, seront ces causes contraires & celles du dégel.

Les suites les plus ordinaires & les plus connues du dégel, sont le débordement des rivières, la destruction des ponts par le choc des grosses pièces de glace que les rivières & les fleuves entraînent, & les montagnes de glace qui se forment quelquefois en certains endroits de leur cours, ou au milieu des mers glaciales, par l'assemblage des glaçons que les flots lancent avec impétuosité les uns sur les autres : effets dont la cause est trop visible, pour nous y arrêter. Si l'on en veut un exemple consacré par l'histoire, on peut voir dans l'Abrégé de

Mézerai, année 1608, la montagne de glace qui s'étoit formée à Lyon sur la Saône devant l'église de l'Observance, par l'accumulation des glaces que cette rivière y avoit poussées, & la manière prétendue magique dont cette montagne fut brisée, & apparemment pétardée.

Il n'est guère plus difficile d'expliquer ce froid qui semble redoubler, lorsqu'il est près de finir, & qui se répand dans l'air au commencement du dégel. Ce n'est presque jamais qu'une pure illusion de nos sens. Le thermomètre, témoin irrévocable en matière de froid & de chaud, en est la preuve, puisqu'il hausse presque toujours au commencement du dégel. Mais il se répand alors dans l'air une si grande quantité de particules aqueuses, ou de petits glaçons fondus, encore très-froids, & toujours très-denses en comparaison de l'air, qu'ils excitent sur notre peau à laquelle ils s'appliquent plus immédiatement que l'air, une sensation de froideur que cet air sec n'y excitoit pas auparavant. C'est ainsi qu'un brouillard moins froid que l'air pur qui l'environne, nous paroît beaucoup plus froid que cet air. Il est vrai que pour l'ordinaire le thermomètre n'est jamais plus bas qu'un peu avant le dégel; mais c'est que le froid, qui est en même temps cause & effet de la gelée, croît presque toujours de plus en plus jus-

qu'au dégel. Je ne voudrois pourtant pas exclurre du moment où la glace de tout un pays commence à fondre, un froid réel qui se répandît dans l'air, par l'absence d'une partie de la matière subtile qui le pénétroit, & qui passe dans ce nombre infini de particules d'eau glacée qui se fondent, où elle se loge, & qu'elle va, pour ainsi dire, animer, en les faisant redevenir liquides.

Le dégel, & la gelée dont il est précédé, sont deux phénomènes réciproques qu'on doit étudier & observer conjointement, & de l'observation constante desquels je ne doute point qu'on ne pût retirer de très-grands avantages.

CHAPITRE V.

Plan d'observations à faire sur les retours annuels & périodiques de la gelée & du dégel, & sur leurs durées par rapport au climat de Paris, & aux autres climats de la Terre.

LA gelée & le dégel dans les climats tempérés semblent n'être que des accidens. La cause générale de la vicissitude des saisons n'y est point assez forte pour amener l'un & l'autre en des temps réglés & périodiques, ni d'une manière constante. Il gèle

& il dégèle à Paris quelquefois avant , plus souvent après le solstice d'hiver , & , d'une année à l'autre , en des points de l'hiver très-différens. On y voit des hivers sans glace , & des printemps , des automnes , des étés même , où la gelée se fait sentir. On pourroit presque révoquer en doute qu'il y gelât jamais par la cause générale & constante , abstraction faite des causes particulières , accidentelles & variables qui l'accompagnent , si la cause générale ne s'y manifestoit par le grand nombre d'hivers où il gèle , en comparaison de ceux où il ne gèle pas. Mais en avançant vers l'E'quateur , il y a certainement des pays sur le Parallèle desquels il ne géleroit point du tout par cette cause , comme il y en a vrai-semblablement près des Poles où il géleroit toujours.

Quelque variété qui règne dans la Nature , on ne peut douter que tout n'y tende à une espèce d'équilibre & d'uniformité , & que l'inconstance même n'y ait ses loix. Si nous avons des observations météorologiques de plusieurs siècles dans un même pays * , il y a tout lieu de croire que la somme totale des pluies , des vents , des gelées & des dégels de ce pays pendant un siècle , ne différeroit pas sensiblement de celle d'un autre siècle , ou que s'il s'y trouvoit des différences

* Extrait de l'Hist. de l'Acad. des Sc. 1743, p. 170. où j'avois inséré à peu près ce qui suit.

marquées, un nombre de siècles plus grand encore nous en dévoileroit la marche & les compensations. Car enfin, les pièces de cette machine & du système solaire ne sont pas infinies; leurs révolutions doivent nous redonner à peu près les mêmes effets, ou nous indiquer la cause de variation ou de dépérissement qui en trouble les retours. L'Asie, l'Afrique & l'Amérique nous fournissent mille exemples de grandes contrées où il tombe en certains temps de l'année des pluies réglées auxquelles on s'attend, & sur lesquelles il est rare que l'on se trompe. Ces contrées sont pour la plupart comprises entre les tropiques, ou ne s'en éloignent pas beaucoup. L'Europe qui, en général, ne nous offre rien de pareil, occupe au contraire le milieu d'une zone tempérée; mais aussi ses parties les plus septentrionales sont assez régulièrement chargées de neige pendant sept à huit mois de l'année, & l'été qui succède à ce long hiver est communément assez uniforme. Les vents sont toujours plus réglés par leurs durées, par leurs directions & par le temps de l'année où ils soufflent, dans la zone torride & dans la zone polaire que nous connoissons, que dans la tempérée qui est entre ces deux extrêmes. On observe quelque chose de semblable en Islande & dans le Groenland sur les gelées, sur les dégels & sur les variations du baromètre qui dispa-

roissent presque entièrement sous l'équateur. Or si le dérèglement des pluies, des vents, des gelées & des dégels peut être ramené à quelque chose de fixe & d'uniforme dans les extrêmes, n'est-il pas à présumer que la même constance & la même uniformité subsistent dans les climats moyens qui en participent, quoique sous une forme plus compliquée & plus difficile à démêler ?

Je ne trouve pas que l'Académie des Sciences ait établi des observations météorologiques avant 1688. Il paroît seulement que quelques-uns de ses Membres avoient observé plusieurs années auparavant la quantité d'eau de pluie qui tombe tous les ans, soit à Paris, soit à Dijon, ce qui s'en évapore, & ce qui s'en imbibe dans la terre à plus ou moins de profondeur, comme on en peut juger par quelques ouvrages sur l'origine des fontaines & des rivières, & sur-tout par le Traité du mouvement des eaux de M. Mariotte. Mais je doute qu'il y ait rien eu de régulier & de suivi sur ce sujet dans cette Compagnie, non plus que parmi les autres Savans de l'Europe, avant le temps que je viens de fixer. On observa alors, non seulement la quantité de pluie, mais encore les vents, les variations du baromètre, celles du thermomètre, le chaud & le froid; & il résulte de ces observations aussi utiles, aussi précieuses pour les vrais Physiciens, que peu
brillantes

brillantes en elles-mêmes, que le plus grand froid & le plus grand chaud de notre climat ne se font sentir, année commune, qu'environ un mois & plus après les solstices d'hiver & d'été. Les raisons que j'ai données ailleurs * de ce phénomène sont assez connues, & se réduisent à celle-ci, que la terre encore échauffée par l'été & l'automne, balance pendant un mois & plus, le froid imprimé au terrain ou excité dans l'atmosphère par la cause générale des saisons, & de même à l'égard de la chaleur. Mais on n'a rien donné d'équivalent ou d'assez exact par rapport aux gelées & aux dégels pour en déterminer le commencement, la durée & la fin relativement à chaque climat, abstraction faite des causes accidentelles. Car je ne doute point qu'on ne découvrit là-dessus dans chaque pays une année moyenne entre certaines limites, comme on a fait pour le plus grand chaud & le plus grand froid, & pour la quantité d'eau de pluie.

On pourroit donc se faire un canevas d'observations entre ces limites pour tous les climats de la Terre où l'alternative des gelées & des dégels a lieu, en traçant ces limites sur un plan, ou sur un globe terrestre avec ses méridiens & ses parallèles, & en partant du cercle des solstices, qui seroit à cet égard comme le premier méridien qui passe

* Mém. 1719, p. 118. . . . 126,

CHAPITRE VI.

De la Glace ou de l'espèce de Neige qui s'attache aux murailles, après les longues gelées, pendant le dégel.

TOUT corps plus froid que l'air qui l'environne, condense cet air & la vapeur aqueuse dont cet air est chargé, & il la gèle si cette froideur va jusqu'à la congélation ou surpasse la congélation.

* Soit P , (*planche IV*) le pôle, autour duquel sont tracés les parallèles $CB C$, $MQ N$, $m q n$, &c. & d'où partent les méridiens $P Q$, $P M$, $P N$, $P m$, $P n$. Soit $P Q E$ le cercle des solstices ou la portion de ce méridien comprise entre le pôle P , & le parallèle $L E L$, au delà duquel, en allant vers l'équateur, il ne gèle jamais qu'accidentellement. Nous pouvons imaginer de même autour du pôle un cercle ou parallèle $CB C$, dans lequel l'eau commune ne dégèleroit jamais que par accident. Cela posé, BE sera le diamètre ou l'axe des deux courbes des limites AMY des gelées, & ANY des dégels. Soit chacun des parallèles, compris entre B & E , divisé en autant de parties qu'il y a de jours dans l'année, ou, soit pris sur les degrés & minutes de Q ou q , vers M ou m , autant de degrés & minutes qu'en contient le nombre de jours dont la gelée doit précéder l'arrivée du Soleil au solstice d'hiver par la cause générale & constante des saisons sur le parallèle donné; & de même de Q ou q , vers N ou n , pour le nombre de jours qui doivent s'écouler depuis le solstice jusqu'au dégel par la même cause. Il est clair, 1^o Que la ligne menée par

Les corps , toutes choses d'ailleurs égales, gardent d'autant plus leur état de chaleur ou de froideur , qu'ils sont plus solides , plus pesans , ou qu'ils contiennent plus de matière propre. Leur superficie ne prend pas même aisément la température de ce qui

tous les points M, m , donnera la courbe des gelées $AMmY$, & par tous les points N, n , celle des dégels $ANnY$. 2° Que la partie du parallèle MN, mn , interceptée par ces deux courbes, exprimera la durée de la gelée sur chacun de ces parallèles , comme la courbe $BTtA$ qui les partage en deux également en exprimera le milieu. 3° Que sur le parallèle $CB C$ les deux extrémités m, n , se réunissent en Y où se terminent les deux courbes des limites. 4° Que si l'on veut appeler froid tout ce qui est au degré de la congélation & au dessous sur le thermomètre , & nommer chaud tout ce qui en fait monter la liqueur au dessus , l'espace $AMmYnNA$, compris entre les deux courbes, & le reste de toute la surface de l'hémisphère polaire comparés ensemble, donneront l'année commune ou les sommes moyennes du froid & du chaud qui règnent sur tout cet hémisphère , & même sur toute la Terre; car la différence qu'il y doit avoir à cet égard de l'hémisphère boréal à l'austral peut y être aisément ramenée. Enfin il est clair qu'une partie de la courbe $AMmY$ doit se trouver au delà de l'axe PE , vers son origine A , & avoir un point d'intersection, & peut-être d'inflexion, S , sur son axe. Car puisque sur un parallèle, tel que celui de Paris, les gelées n'arrivent communément qu'un mois & plus après le solstice, il y aura nécessairement sur ce parallèle, ou sur un autre au dessus vers le pôle, ou au dessous vers l'équateur, un point tel que S , pour le commencement des gelées, après lequel elles ne commenceront plus qu'au delà vers l'origine de la courbe, & enfin au point A , où, à la rigueur & selon l'hypothèse, elles ne dureroient qu'un instant.

les environne jusqu'à ce qu'elle ait pénétré assez avant dans leur solidité.

Avec ces deux principes, qui n'ont pas besoin d'explication, celle du phénomène dont il s'agit ne souffre aucune difficulté.

Une longue & forte gelée imprime aux corps solides, tels que les murs épais, une froideur qui dure encore assez long-temps après que le dégel a réchauffé l'air, & sur-tout du côté du mur qui est le moins exposé à l'adoucissement extérieur. Ainsi les parois intérieures des escaliers & des autres murailles des maisons, lorsqu'elles sont éloignées du feu, & à couvert des rayons du Soleil, se montrent toutes tapissées de glace ou de neige, après les longues & fortes gelées, parce que l'air qui est un fluide fort rare, prend aisément le degré de chaleur amené par le dégel, & long-temps avant qu'il ait pénétré les murailles épaisses qui demeurent encore aussi froides, ou plus froides que la glace; & de plus parce que l'air est chargé de beaucoup d'humidité & de particules de glace fondues pendant le dégel. Toutes ces gouttelettes ou ces petites ampoules d'eau venant à s'appliquer & à s'accumuler successivement sur la muraille, & les unes sur les autres, y forment une croûte de glace, rare, spongieuse, composée de parties presque disjointes, comme de la glace brisée, & par conséquent blanche, & fort semblable

à de la neige. Les longues gelées deviennent presque toujours très-fortes, & ont tout le temps de pénétrer la pierre; aussi est-ce après, qu'on y voit cette couche farineuse. J'en ai vu tout le grand escalier du Louvre tapissé en 1729, 1741, &c. pendant quelques jours, & d'une ligne, d'une ligne & demie, ou de près de deux lignes d'épaisseur en certains endroits.

C'est une erreur de croire que cette espèce de neige vient de l'humidité qui sort du mur, elle n'a garde d'en sortir, puisqu'il est encore aussi froid que la glace, ou même beaucoup plus froid, & que ce qu'il y a d'humidité au dedans, n'y peut être que glacé.

Il se fait quelque chose d'approchant sur les parois extérieures des seaux de métal, de porcelaine & de fayence remplis de glace, & où l'on fait rafraîchir les liqueurs. Ils sont tout couverts de gouttelettes d'eau condensées qui leur donne ce terne & ce mat qu'on y aperçoit. Ces gouttelettes sont fournies par l'air extérieur, par la vapeur qui s'élève ordinairement de la glace qui se fond, & qui est quelquefois visible dans les glaciers, comme de la fumée. Elles se gèleront sur les parois du seau, si l'épaisseur du métal ou de la terre, & si l'eau de la glace déjà fondue, ne les en défendoient, & plus encore, si l'on redoubloit la glace,

342 DISSERTATION SUR
ou sa froideur par quelque sel; comme nous
le dirons dans la Section des glaces arti-
ficielles.

CHAPITRE VII.

*Des figures curvilignes qui se trouvent quel-
quefois tracées sur les vitres par plusieurs
brins de glace, pendant le dégel.*

CE phénomène est, quant au fond, le même que le précédent. Il en diffère par la circonstance des figures, & c'est par-là aussi qu'il est à mon avis beaucoup plus difficile à expliquer.

J'ai assez ouï parler des figures singulières qui se forment sur les carreaux des vitres pendant la gelée ou le dégel. On m'a assuré qu'en Allemagne, & dans les pays & les maisons où l'on fait grand usage des poêles, elles étoient fort communes; qu'ici même pendant les gelées, on s'en étoit fait quelquefois un jeu, en poussant son haleine contre les carreaux; & tout cela vaguement conçu ne me paroît pas difficile à entendre, après ce qui a été dit dans le chapitre précédent. L'air de la chambre est chaud ou tempéré, la vitre est froide, aussi froide ou beaucoup plus froide que la glace par l'impression de la gelée extérieure, & la vapeur qui

s'y attache du côté de la chambre y est subitement congelée. Ou au contraire, si c'est pendant le dégel, si c'est l'air de la chambre qui soit très-froid encore, & que l'adoucissement vienne du dehors, comme dans le cas dont il s'agira principalement ici, ce sera l'humidité du dehors qui s'attachera aux carreaux, & qui s'y congèlera. Tout cela, dis-je, en général ne souffre aucune difficulté. Mais pourquoi ces figures ? quelles sont ces figures ? Et lorsque le hasard les fait paroître, est-ce pendant la gelée, ou au dégel ? C'est sur quoi je n'ai rien pû recueillir de positif, ni de bien circonstancié.

De plus, il faut que le phénomène exige un concours de circonstances assez rare, qu'il soit moins fréquent qu'on ne dit, ou que le hasard m'ait bien mal servi ; car je ne l'ai vû que deux fois à Paris, & jamais dans le bas Languedoc où j'ai été pourtant assez occupé des phénomènes de la glace. J'aurois pû depuis me le procurer par art, & de manière peut-être à m'instruire de sa véritable cause ; j'avois imaginé quelques moyens pour cela, mais d'autres occupations m'ont empêché de mettre la main à l'œuvre : excuse qu'il me semble qu'on doit quelquefois me passer, dans le cours d'une recherche qui se divise & se subdivise en autant de branches que celle-ci.

Je n'ai donc pas de meilleur parti à prendre

en cette occasion, que de rapporter historiquement le phénomène tel que je l'ai vû, dans quelles circonstances je l'ai vû, & les réflexions qu'il m'a fait faire.

Le 19 Janvier 1729, vers les huit heures & demie du matin, la forte & longue gelée de cette année étant à son dernier période, & plusieurs signes en indiquant la fin, j'aperçus sur les carreaux de vitre de l'une des deux fenêtres de la galerie où je tiens mes livres, où il n'y a jamais de feu, & qui donne sur le levant, une poussière de glace, blanche & très-fine, qui, étant regardée de près, représentoit des rinceaux contournés en spirale, des ramages comme on en voit dans les frises des bâtimens, & sur les plafonds, des moresques comme celles de certaines étoffes, sur le damas, & sur le linge façonné de Flandres; tout cela peu distinct, & mêlé de cette poussière qui en remplissoit les intervalles, & en interrompoit souvent les contours. Le phénomène dura environ une heure, & se dissipa, si je ne me trompe, par évaporation. Mais le lendemain 20^{me} au matin & à la même heure, ayant été regarder à la même vitre, j'y vis avec admiration toutes ces figures mieux développées, ces ramages plus marqués, par une plus grosse poussière, blanche, oblongue dans la direction des contours, & ces contours d'une hardiesse

merveilleuse. Cinq ou six carreaux en étoient chargés extérieurement, il y en avoit un sur-tout qui fixa mes regards. Une espèce de tige partoît d'un de ses angles, & se distribuoit en plusieurs rameaux jusqu'à ses extrémités, au delà desquelles ils sembloient continuer de s'étendre sur les carreaux voisins, quoiqu'interrompus par les plombs de jointure, & à une ou deux lignes de distance de part & d'autre.

Mon premier soin, après avoir bien considéré ce phénomène, fut de le dessiner du mieux qu'il me seroit possible pour le peu de temps qui me restoit; car la poussière de glace commençoit à fondre, à couler, & à former des gouttes en quelques endroits de l'espace même où je voulois borner mon dessin. On peut en voir une partie dans la Planche V, qui est à la fin de ce volume, en imaginant que ces petits traits oblongs qui forment les ramages, au lieu de noirs qu'ils sont, ayant été faits à la plume, doivent être blancs & paroître tels sur un verre transparent. Du reste, ni moi, ni le graveur n'avons rien ajouté à la beauté & à la variété de la Nature, nous sommes au contraire demeurés bien au dessous. Cette vitre n'a point de double, & les carreaux sont d'environ $6\frac{1}{2}$ pouces de hauteur, sur $5\frac{1}{2}$ de largeur.

Venons à la seconde observation.

P v

Je fus vainement attentif à toutes les gelées, & à tous les dégels des années suivantes; rien de pareil ne se montra sur mes vitres jusqu'au mois de Janvier 1743, où, après plusieurs jours de gelée, & au commencement du dégel, j'aperçus de semblables figures sur les carreaux de la même fenêtre; mais malheureusement celui que j'avois défini par préférence en étoit le moins chargé, & il me fut impossible d'y bien distinguer si c'étoient les mêmes, ou des figures différentes, & autrement placées. Cependant j'étois sûr que les carreaux n'en avoient pas été changés. Mais pendant que j'y observois le phénomène, je fus averti qu'il paroïsoit de même sur un des châssis de la fenêtre de ma chambre, au mur opposé & vers le couchant. Quatre des carreaux de ce châssis qui est double, mais dont un seul, le châssis extérieur, étoit demeuré fermé pendant la matinée & dans ce moment, se trouvoient chargés d'une semblable broderie, principalement autour du point d'intersection de la petite croisée de bois qui les séparoit; car ils étoient disposés quarrément: excepté que celui d'embas & le plus proche du mur de la fenêtre, vers le nord, se distinguoit par une tige qui partoît d'auprès d'un de ses angles, fort semblable à celle de la première observation. Elle se développoit en un plus grand nombre de rameaux, les carreaux du

chassis étant plus grands que ceux de la vitre de la galerie, & ayant chacun environ 9 pouces de hauteur sur $7\frac{1}{2}$ de largeur. J'en pris aussi le dessein; mais il est inutile de le rapporter, le premier nous suffit.

Ce n'est plus ici cette disposition angulaire des filets de glace, cette affectation à s'arranger sous un angle bien marqué, sous un angle de 60 ou de 120 degrés, dont nous avons vu tant d'exemples dans la première Section de cette partie. Ce sont des cercles ponctués & redoublés, comme pour représenter des tourbillons de poussière, des volutes, des courbes à point d'inflexion, dont rien jusqu'ici ne nous indique la tendance dans les particules de l'eau qui se glace, non plus que dans les sels qui se cristallisent. Car je dois dire à propos des sels, qu'il y avoit eu souvent, & depuis peu, de l'urine sur la fenêtre de ma galerie, & qu'il pouvoit bien s'en être exalté quelques particules jusqu'aux carreaux de vitre où étoient les figures, & qui n'étoient qu'à un ou deux pieds au dessus de la tablette. Mais des congelations de l'urine, & des mélanges urineux avec l'eau, résulte-t-il jamais autre chose que des figures rectilignes, angulaires, & plus marquées à cet égard, que celles de l'eau? C'est ce que nous avons suffisamment remarqué en son lieu, & mis sous les yeux, planche III.

Sans compter que rien de pareil ne peut être allégué sur la fenêtre de la chambre que j'habitois depuis 20 ans lorsque je vis ce phénomène pour la seconde fois.

Il faut donc avoir recours à un tout autre principe que celui des congélations & des crySTALLIFICATIONS ordinaires, & ce principe est à mon avis tout-à-fait étranger à la matière congelée ou crySTALLISÉE.

Les divers mouvemens que l'ouvrier fait faire à la spatule ou baguette de fer avec laquelle il remue la pâte du verre avant que de le souffler & de l'aplatir, ne produiroient-ils point dans la matière vitreuse, plusieurs filets disposés selon les mêmes directions, & cette disposition, qui a pour cause les révolutions fortuites de la baguette, ne seroit-elle point à son tour la véritable cause des figures curvilignes tracées sur le verre par la poussière de glace ? Ce que les miroitiers appellent des *bouillons* ne vient apparemment que de là, lorsque le refroidissement plus ou moins prompt de la pâte les rend plus visibles. Ils ne le sont pas quelquefois à la vue simple, dans les grands oculaires des lunettes ; mais on ne les y aperçoit que trop en regardant à travers. Ils changent la réfraction de la lumière, & par-là la figure, & le lieu apparent du point lumineux ou de l'astre que l'on observe. Ne pourroient-ils donc pas changer aussi le cours de la

matière subtile qui pénètre le verre, & déterminer les corpuscules de glace, qui n'en sont pas moins pénétrés, à suivre le même cours ?

Ce fut-là ma première conjecture. Voici la seconde qui n'exclut pas la première, mais à laquelle pourtant je m'en tiendrai, jusqu'à ce que j'apprenne quelque chose de plus sur ce sujet.

Différentes idées, en rêvant à ce phénomène, me portèrent à jeter les yeux sur un livre de dépense pour les ouvriers que j'emploie, & j'y trouvai, que vers la fin de l'automne précédente, environ deux mois avant ma première observation, faite en Janvier 1729, j'avois donné mes vitres à nettoyer, & à peu près de même avant la seconde, faite en Janvier 1743, sans qu'on y eût touché dans cet intervalle. Là-dessus je me rappelai la manière dont les vitriers nettoient ordinairement les vitres, en les couchant horizontalement sur une table, & en passant par-dessus un linge ou toute autre matière, avec du sable fin, & un peu d'eau. Toutes les révolutions que fait alors la main de l'ouvrier sur le verre, me parurent absolument analogues à celles que la poussière de glace décrit sur les vitres dans le cas de notre phénomène; & l'on comprend assez qu'il en peut résulter quelquefois des figures fort agréables à l'œil, toujours fort

hardies & toutes semblables à celles de la planche V. Car il n'est pas possible que le sable conduit simplement sur le verre, & souvent pressé contre avec force, n'y laisse des traces & des sillons, sinon visibles, du moins physiquement très-réels. C'est dans ces rainures profondes relativement aux particules infiniment petites de l'eau & des vapeurs, que se loge la poussière de glace qui les décele par sa blancheur, par son opacité, ou par ses différentes réfractions. Mais par succession de temps, ces rainures, ces sillons se remplissent de poussière ou du sédiment qu'y a déposé l'eau des pluies ou l'humidité des maisons; & voilà pourquoi je crois que, toutes choses d'ailleurs égales, le phénomène doit beaucoup plus souvent paroître sur des vitres nouvellement nettoyyées que sur celles qui ne l'ont été que depuis long temps, ou qui ne l'ont point été du tout : nouveau sujet d'expériences, qui ne seront pas bien difficiles dans les pays où l'on éprouve souvent de longues & fortes gelées.

Les deux causes que je viens d'assigner à ce phénomène pourront souvent l'emporter l'une sur l'autre, ou se compliquer, de même que la double impression du sable dont on aura frotté les deux côtés du verre; & je suis fort trompé si ce n'est-là le cas de certaines figures bizarres, indécises & entrecoupées qu'on y remarque quelquefois, &

que j'y ai vûes sur quelques carreaux autour de ceux qui étoient les mieux façonnés.

On trouve dans nos anciens Mémoires * un phénomène qui a quelque rapport avec celui-ci, & où les sels d'une infusion d'antimoine ont non seulement décrit de ces sortes de figures sur les parois internes d'une bouteille quarrée à pans, mais y ont de plus gravé & creusé sensiblement le verre dans ces mêmes contours qu'on ne sauroit attribuer à la simple crySTALLISATION de ce minéral, qui est toujours disposé en aiguilles très-rectilignes, & qui ne donne rien de pareil en tout autre cas.

* Mém. de l'Acad. *Tome X, p. 403*, par M. Homberg.



SECTION V.

De la Glace artificielle par le moyen des sels.

C'E seroit la matière d'un grand & beau Traité de Chymie. Les sels de toute espèce, acides, alkalis, fixes, volatils, naturels & artificiels, leurs différentes préparations, les esprits qu'on en retire, font autant de substances qui, étant mêlées avec l'eau, la refroidissent plus ou moins, fondent la glace, forment ce mélange dont on environne l'eau qu'on veut glacer, & dont il doit résulter autant de congélations différentes par la force ou par la promptitude, qu'ils sont doués de différentes propriétés, ou employés en différentes doses. Je ne puis ni ne dois traiter des congélations artificielles dans une pareille étendue : cette étendue même m'oblige à m'y renfermer dans des bornes étroites. Je ne parlerai que d'un petit nombre de sels des plus connus par rapport à la congélation artificielle, & tels que la Nature ou que la fabrique ordinaire nous les donne, je me bornerai presque entièrement à ce que j'en ai dit dans les éditions précédentes, & il me semble que je remplirai suffisamment par-là l'objet que je me suis proposé dans celle-ci.

CHAPITRE PREMIER.

*Que les sels ne font geler l'eau qu'en faisant fondre la glace qu'on met autour.
Expériences sur cette fonte.*

LES sels par eux-mêmes, & dans les mêmes circonstances, ne sont pas plus froids que la glace. Environnés d'air ou de tel autre corps, fluide ou solide, qui ne les dissout point & qui n'en est point dissous, ils prennent, comme la plupart des autres corps, à peu près la température, le degré de chaud ou de froid du milieu ou du corps qui les environne. Ainsi de la glace brisée & du sel brisé mêlés ensemble, ne formeroient point par la simple juxtaposition, ou par le contact mutuel de leurs parties non dissoutes, un tout sensiblement plus froid que la glace; & par conséquent ce tout, ce mélange de sel & de glace mis autour d'un vase rempli d'eau, ne la feroit pas plutôt geler que la glace toute seule. Ce n'est donc que par la dissolution, par la fusion réciproque de la glace & des sels, que les sels mêlés avec la glace produisent ou accélèrent la congélation de l'eau.

On a vû dans la première partie de cet Ouvrage * comment les particules salines

* Chapitre VIII.

répandues dans l'air ou mêlées dans un terrain humide pouvoient les refroidir , & produire la congélation des rivières & des lacs. Voici des effets tout différens , & en apparence tout contraires.

Les sels mêlés avec la glace la fondent très - promptement ; mêlés avec la glace & appliqués autour d'une bouteille pleine d'eau, ils font geler cette eau ; mêlés avec l'eau , ils l'empêchent de se geler , & néanmoins ils la rendent plus froide.

Le premier de ces phénomènes est le principal , & celui dont dépend , selon moi , l'explication de tous les autres ; savoir , que les sels accélèrent la fonte de la glace.

Commençons par nous assurer du fait : car comme on pile d'ordinaire la glace pour la plupart des opérations qu'on en veut faire avec les sels , qu'on la touche quelquefois avec les mains , & qu'elle est peut-être pendant ce temps-là exposée à un air chaud , ou au souffle & à la transpiration du corps de ceux qui s'en servent , on pourroit bien attribuer la promptitude de sa fonte à quelqu'une de ces circonstances , plutôt qu'à la vertu des sels.

J'ai pris quatre morceaux de même glace de grandeur & de figure à peu près égales , & d'environ un pouce cubique : je les ai fait bien sécher au grand froid pendant la gelée ; ensuite j'ai enveloppé ou saupoudré

un de ces morceaux de glace de sel marin bien sec & bien pulvérisé, en sorte que cette poudre faisoit tout autour une espèce de croûte. J'ai saupoudré deux autres morceaux de la même manière, l'un avec du salpêtre, & l'autre avec du sel ammoniac, & j'ai laissé le quatrième sans y rien mettre.

Pour jeter le sel sur les trois premiers, je me suis servi d'une pièce de glace que je tenois avec des pincettes de fer, afin de ne pouvoir attribuer leur fonte à autre chose qu'aux sels; & quoique je fisse tout cela au grand froid, & avec beaucoup de diligence, je me suis aperçu que les pointes, les arêtes & les angles solides de la pièce de glace dont je me servois comme d'une palette, étoient déjà tout fondus.

Les quatre morceaux de glace étant en cet état, je les'ai transportés sur de petits treillis ou réseaux de fil, dans un cabinet où il y avoit un poêle, & où j'entretenois l'air au degré de chaleur des caves de l'Observatoire, c'est-à-dire, autour du 54^{me} degré de chaleur du thermomètre de M. Amon-ton*, & j'ai remarqué en même temps quelle heure il étoit à une pendule.

Cette expérience ayant été répétée trois fois, en voici le résultat & le temps moyen

* Ou le 10^{me} de celui de M. de Reaumur, qui n'a été donné depuis qu'en 1730; ces expériences ayant été faites en 1716.

des trois fontes des quatre morceaux de glace.

Le morceau qui étoit environné de sel marin, a fondu toujours en moins d'une heure.

Le morceau de sel ammoniac, 5 à 6 minutes après.

Celui du salpêtre a été près de 2 heures à fondre.

Et le morceau de glace pure a toujours duré plus de 5 heures $\frac{1}{2}$.

D'où il est clair que les sels précipitent la fonte de la glace. On voit bien même que cela doit arriver ainsi, lorsqu'on prend garde à la configuration des corpuscules salins : car leurs pointes sont comme autant de coins qui écartent çà & là les parties intégrantes de l'eau glacée ; ils les ébranlent du moins par leur choc lorsqu'ils ne peuvent trouver d'ouverture entre deux, ils en détruisent la contiguité, & ils font en un moment ce qu'une assez grande chaleur ne feroit qu'en un temps considérable. C'est que la chaleur n'agit que par l'air & par la matière subtile, ou, pour parler plus exactement, la chaleur n'est qu'une matière subtile agitée avec un air auquel elle communique une partie de son agitation. Or la matière subtile est infiniment tenue & fluide, en comparaison des corpuscules salins, & les particules de l'air sont, comme il a été remarqué ci-dessus, beaucoup plus légères que celles de l'eau, & par

conséquent que celles des sels, qui sont plus pesans que l'eau. Donc la matière subtile aidée de l'air ne peut pas si-tôt ébranler ou rompre par son choc les parties de la glace, les séparer & les liquéfier, que font les corpuscules salins, dont la figure d'ailleurs est très-propre à cet effet, même à l'égard de certains corps beaucoup plus durs que la glace; je parle des métaux, dont on fait que les dissolvans ordinaires ne font autre chose que des sels.

CHAPITRE II.

Formation de la Glace artificielle.

VOYONS présentement la liaison de la propriété précédente des sels, avec la congélation qu'ils procurent à l'eau, étant mêlés avec de la glace ou de la neige, & appliqués autour d'une bouteille remplie d'eau.

Après avoir mis dans une bouteille l'eau qu'on veut glacer, on la plonge dans quelque vaisseau de capacité & de figure convenable, où il y a de la glace pilée ou de la neige mêlée de sel, de manière que la bouteille en soit environnée; ou, si l'on veut, on commence par mettre la bouteille dans le vaisseau, & l'on remplit de sel &

de glace le vuide qui se trouve tout autour.

Si les sels, en faisant fondre la glace, augmentent pour quelque minute sa froideur, c'est-à-dire, s'ils diminuent le mouvement ou le ressort de la matière subtile qui est contenue dans ses interstices, il n'y a pas de difficulté, ils doivent pendant ce temps-là procurer & accélérer la congélation du liquide autour duquel est le mélange de sel & de glace : car la matière subtile enfermée dans ce liquide, & duquel elle fait toute la liquidité, le doit quitter & se mettre en partie à la place de celle qui cesse par son relâchement de lui résister ou de lui faire équilibre. Or il est évident que les sels doivent produire cet effet, puisqu'ils écartent très-promptement les particules de glace qui étoient appliquées les unes contre les autres, & que par-là ils donnent lieu à la matière subtile qui y est contenue de dilater son ressort. De plus, le fait est certain par expérience : car si l'on met la boule d'un thermomètre à esprit de vin dans la glace ou dans la neige toute pure, jusqu'à ce que la liqueur s'arrête au degré de froideur de l'un ou de l'autre, & qu'on l'y replonge ensuite d'abord après y avoir mêlé un sel, du sel ammoniac, par exemple, on verra descendre l'esprit de vin presque subitement, & beaucoup plus bas qu'il n'étoit avant qu'on fit

ce mélange. L'effet est souvent plus marqué dans la neige que dans la glace, parce que les sels s'y incorporent plus vite, & qu'elle enveloppe plus parfaitement le verre du thermomètre. Donc par la construction des liquides, la matière subtile enfermée dans de l'eau qui se rencontre tout auprès d'une glace ainsi fondue, doit s'échapper & se glisser dans les nouveaux passages qui lui sont ouverts, & où elle trouve moins de résistance à son mouvement que dans les interstices du liquide qu'elle quitte ; & par la théorie de la formation de la glace, cette effusion de la matière subtile intérieure doit être suivie de la congélation de l'eau, ou de tel autre liquide.

CHAPITRE III.

En quoi la Glace artificielle diffère de la Glace ordinaire.

LA glace artificielle est en tout semblable à celle qui vient sans le secours de l'art par un froid très-prompt & très-violent, excepté que ses bulles d'air prennent la plupart une figure oblongue & conique, & que ses premiers filets sont courts, uniformes, ferrés & presque toujours attachés perpendiculairement aux parois du vaisseau. J'ai

remarqué cette différence, sur-tout en faisant geler de l'eau dans des gobelets ronds de verre avec de la glace & du sel marin, du salpêtre, ou du sel ammoniac.

Les premiers filets de glace & les bulles d'air en pointe tournées vers l'axe du gobelet, marquent visiblement le cours & l'effusion rapides de la matière subtile de l'axe vers la surface, c'est-à-dire, vers le mélange de glace & de sel qui environne le vaisseau, & vers lequel la matière subtile intérieure coule & tend avec d'autant plus de vitesse & d'abondance, qu'elle y trouve plus de place, & que les nouveaux intervalles qui s'y sont faits par la désunion précipitée des parties de la glace, facilitent davantage la dilatation de son ressort. La figure particulière & oblongue des bulles d'air de la glace qui s'est formée ainsi, ne vient que de la promptitude avec laquelle elles sont chassées de la surface vers l'axe, & de ce que les particules d'eau entre lesquelles elles se trouvent comprimées, sont devenues dures & inflexibles avant que ces petits amas d'air aient pû reprendre leur figure sphérique.

La promptitude des congélations artificielles est encore cause qu'on a souvent de la peine à distinguer les premiers filets de glace, parce qu'ils sont si uniformes & si près les uns des autres, qu'ils forment dans un moment une espèce de couronne sur les
bords

bords intérieurs du vase qui contient l'eau, & qu'elle s'y congèle parallèlement à ces bords, à peu près comme les métaux fondus quand ils se refroidissent, jusqu'à ce qu'enfin l'endurcissement parvienne au centre ou à l'axe.

Ces singularités de la glace artificielle ne détruisent en rien ce que nous avons dit des premiers filets de la glace ordinaire, & de l'obliquité sous laquelle ils affectent de se joindre les uns aux autres, & aux matières qui leur sont analogues : car il est visible que ce n'est ici qu'une force étrangère, une force supérieure à leur tendance naturelle, qui les oblige à se diriger perpendiculairement vers les bords du vase autour duquel elle s'exerce.

Du reste, je n'ai rien remarqué dans le goût ni dans les autres qualités sensibles de la glace artificielle qui la fit différer de la glace ordinaire. Le piquant que quelques personnes ont cru y apercevoir par la communication des sels employés à l'opération, & qui leur a fait penser que par cette circonstance les glaces artificielles pouvoient être mal-saines, ne vient, à mon avis, que d'une illusion que j'ai déjà indiquée en parlant du goût de la glace en général*, & je ne vois pas d'apparence que le mélange de sel & de glace pénètre jusqu'à la liqueur.

* Ci-dessus, p. 289.

qu'on fait geler, lorsque les vaisseaux qui la contiennent sont d'une matière compacte, métallique, & sur-tout vitreuse. Mais comme la question est intéressante, je dois dire un mot des raisons qui me le font penser ainsi.

C'est un sentiment communément reçu & fondé sur plusieurs expériences chymiques, qu'en général, les parties intégrantes des sels sont plus grosses que celles de l'eau. M. Lémery croyoit aussi que ces parties, dans les dissolutions des sels avec l'eau, ne pouvoient se loger entre ses interstices, & il le prouvoit par cette expérience *. Il mettoit de l'eau dans un tuyau de verre jusqu'à une certaine hauteur qu'il marquoit, il y jetoit ensuite une quantité de sel proportionnée à ce que l'eau pouvoit en dissoudre. La liqueur s'élevoit aussi-tôt de la quantité du volume du sel qui s'étoit précipité au fond du tuyau; il marquoit sur ce tuyau l'endroit jusqu'où elle avoit monté, & quand le sel étoit entièrement fondu, il retrouvoit encore la liqueur au même endroit, ce qui n'auroit pû arriver si les sels s'étoient logés en tout ou en partie dans les interstices des parties intégrantes de l'eau.

Mille phénomènes prouvent en même temps la petitesse extrême des parties intégrantes de l'eau. M. Nieuwentyt, qui a fait là-dessus bien des observations & un calcul

* Mém. de l'Acad. 1716, p. 466.

d'après les vapeurs qui s'élèvent d'un éolipyle, démontre que la pointe la plus aigüe d'une aiguille pourroit porter plus de 13000 de ces parties (a).

Mais quelle que soit cette petiteffe, il n'est pas moins certain que les parties intégrantes de l'eau ne passent pas à travers les pores du verre. On a trouvé qu'une bouteille pleine d'eau, qui avoit été gardée cent cinquante ans, ne laissoit pas de contenir après ce terme la même quantité d'eau dont on l'avoit remplie (b).

Or si les parties intégrantes de l'eau, bien plus petites que celles des sels, ne peuvent pénétrer le verre, comment les sels le pénétreroient-ils? Je n'ignore pas qu'il y a tel fluide qui ne peut par lui-même traverser certains corps, & qui les traverse à l'aide d'un liquide où il est mêlé. C'est ainsi que l'air, qui ne peut passer à travers certaines membranes étant seul, y passe pourtant avec l'eau, puisqu'on en retrouve cette eau toute imprégnée comme auparavant. Mais la manière dont l'air est contenu dans les liquides (c), & la grosseur, la solidité, la roideur & la figure qu'on attribue constamment

(a) *L'existence de Dieu démontrée par les merveilles de la Nature*, p. 500.

(b) *Musschenbr. Essai de Phys.* p. 425.

(c) *Ci-dessus*, p. 133 & suiv.

aux sels, ne permettent point d'en faire l'application au cas présent.

Restent les matières métalliques, comme le fer-blanc, le cuivre, l'argent, &c. dans lesquelles on fait les glaces artificielles; & il est vrai encore que l'eau pénètre, à ce qu'on croit, les métaux. On le juge ainsi sur la fameuse expérience de Florence, où une sphère creuse d'or remplie d'eau étant frappée avec le marteau, laissoit échapper l'eau par une infinité de petits points. Mais outre qu'on pourroit douter si la percussion n'y avoit pas produit bien de petites fêlures imperceptibles, qu'y a-t-il dans la simple juxtaposition du mélange de glace & de sel autour d'un vaisseau, qui puisse être comparé à la force immense de la percussion? Et quand l'eau passeroit à travers le métal, s'ensuit-il que les particules de sel y passeroient?

Toutes ces raisons me persuadent que les glaces artificielles, telles qu'on les fait d'ordinaire, ne se chargent nullement des sels qu'on emploie à les faire.

CHAPITRE IV.

*Du dégel artificiel, ou de la manière
dont on fait dégeler les fruits & les
membres gelés.*

SI au lieu de mettre l'eau dans la bouteille, & le mélange de sel & de glace tout autour, on remplissoit la bouteille de sel & de glace, & qu'on la plongeât ainsi dans l'eau, il est clair, & l'on peut aisément s'en convaincre, qu'une partie de l'eau du vaisseau se glaceroit autour de la bouteille.

C'est précisément ce qui arrive lorsqu'on fait dégeler des fruits dans de l'eau médiocrement froide, ou même dans la neige, en un lieu assez chaud pour qu'elle y puisse fondre; car il se forme très-promptement autour de leur peau une croûte de glace dure & transparente, & plus ou moins épaisse, selon la grosseur & la qualité du fruit.

Les fruits, de même que les arbres & les plantes qui les produisent, contiennent un sel essentiel & volatil intimement mêlé avec leur suc; de sorte que l'eau médiocrement froide ou la neige fondue venant à dégeler ce suc, qu'un froid extrême avoit fixé, y remet les sels en mouvement, & en état d'en accélérer la fonte; la matière subtile voisine, qui tend toujours vers le côté où elle trouve

moins de résistance, va remplir les ouvertures qu'ils y font, elle quitte l'eau qui touche & qui environne la peau qui tient lieu de bouteille au suc contenu dans le fruit, & cette effusion de la matière subtile intérieure de l'eau produit sa congélation.

Ce que je viens de dire des fruits, & que j'ai souvent expérimenté moi-même, arrive aux œufs & à la chair des animaux, où les sels n'abondent pas moins que dans les fruits. Aussi n'ignore-t-on pas en Russie, & dans les pays où l'on est souvent exposé à avoir quelque partie du corps gelée, ou extrêmement refroidie, que le meilleur moyen de remédier à ce fâcheux accident, de prévenir la gangrène, & de ranimer la partie gelée, est de la tremper dans l'eau froide, ou dans la neige, & d'y laisser reprendre peu à peu un libre cours à la circulation. C'est par le moyen de la neige ainsi appliquée, qu'on sauva au Roi d'Angleterre Jacques I, pendant qu'il étoit en Norvège, un doigt de la main, & une oreille*. Le mal ne se fait sentir que dans l'application du remède, & il cause alors de très-grandes douleurs.

* J. Barclay, *Euphormionis Lufinini. Satyricon. part. 4, cap. 8.* Voy. aussi sur ce sujet Isr. Conrad, *de Frigoris natura & effect.* Th. Barth. *de nivis usu medico, cap. 29, &c.*

CHAPITRE V.

De l'efficacité des différens sels pour la congélation artificielle.

P UISQUE les sels n'agissent sur l'eau qu'on veut glacer, qu'en tant qu'ils produisent la fonte de la glace avec laquelle ils sont mêlés autour du vase où l'eau est contenue, il est tout naturel de penser, & l'expérience le confirme, que les sels doivent avoir d'autant plus de force ou d'efficacité pour faire glacer l'eau, que la fonte qu'ils causent à la glace est plus prompte.

Nous avons vu ci-dessus * que le sel marin étoit celui de tous qui fondoit le plus promptement la glace, ensuite le sel ammoniac, & enfin le salpêtre : c'est dans cet ordre que nous rangerons ces sels par rapport à leur efficacité pour la glace artificielle.

Mais en quoi pourroit-elle consister cette efficacité, que dans le refroidissement qu'ils produisent sur la glace concassée avec laquelle ils sont mêlés, & en la fondant ? je n'en vois pas de cause plus prochaine.

Or le refroidissement causé par ces sels mêlés avec la glace, ou dans le mélange d'eau & de glace qui en résulte par la fusion,

* Page 356.

sur une partie de chacun de ces sels avec deux parties de glace, & par le thermomètre dont on y a plongé la boule, se trouve différer selon ces rapports 15, $12\frac{2}{3}$, $3\frac{1}{2}$ (a). C'est-à-dire, que la liqueur du thermomètre plongé dans le mélange de glace & de sel marin y est descendue de 15 degrés de plus que dans la glace toute pure; dans le mélange de glace & de sel ammoniac de $12\frac{2}{3}$, & dans le mélange de glace & de salpêtre de $3\frac{1}{2}$.

Sur quoi l'on peut remarquer que le rapport d'efficacité des sels marin & ammoniac pour ce refroidissement, est presque absolument le même que celui que nous avons donné ci-dessus (b), & trouvé en 1716, pour la fonte de la glace; en raison inverse des temps. Car si l'on compte, par exemple, 55 minutes pour la fonte du morceau de glace entouré de sel marin, & 65 pour la fonte du morceau entouré de sel ammoniac, on trouvera que ces nombres sont entr'eux comme 15 & $12\frac{2}{3}$, qui ne diffère de $12\frac{2}{3}$ que de $\frac{1}{495}$. J'avoue que faute d'avoir énoncé plus précisément ce que j'entendois par *en moins d'une heure*, pour la fonte du morceau de glace par le sel marin, ce n'est ici que par estime que j'in-

(a) D'après les exp. de M. de Reaumur, *Mém.* de 1734.

(b) Page 356.

dique le nombre de 5 5 minutes; mais comme il n'y a nulle apparence que ce *moins* signifîât autre chose que quelques minutes, 3, 4, 5 ou 6, & que je me sers ensuite du même à peu près de 5 à 6 *minutes*, pour la fonte du morceau de glace entouré de sel ammoniac; comme il n'y a, dis-je, nulle apparence que cette expression signifîât rien de plus, on trouvera toujours le terme relatif au sel ammoniac d'environ 12 ou 13 d'efficacité. Ce qui suffit pour faire sentir l'accord de cette ancienne expérience avec la nouvelle détermination de l'efficacité de ces deux sels, & l'analogie de cette efficacité avec la promptitude des fontes.

Il n'en est pas de même à l'égard du salpêtre. Son peu de promptitude ou plutôt sa lenteur à fondre la glace donneroît encore environ 7 d'efficacité au lieu de $3\frac{1}{2}$ qui résultent des expériences rapportées ci-dessus. Mais il y a ici une compensation à observer, c'est la promptitude avec laquelle le salpêtre déploie son action à cet égard, en comparaison du sel marin & du sel ammoniac. Car je trouve par ces mêmes expériences, faites avec une attention & dans un loisir que je n'ai pû oublier, que ce sont deux choses très-distinctes & qui ne suivent nullement le même ordre, la force ou l'efficacité des sels pour la congélation artificielle, mesurée par le degré de refroidissement, & la prompti-

titude ou la lenteur de cette même congélation. Le sel ammoniac qui dissout la glace plus promptement que le salpêtre, & un peu plus tard que le sel marin, me parut toujours celui qui donnoit la congélation artificielle la plus prompte, ensuite le salpêtre. Et le sel marin qui fait fondre la glace le plus vite, & qui produit le plus grand refroidissement dans la glace qu'il fond, fut celui de tous qui me donna la congélation artificielle la plus lente. Ce sel est très-compacte, ses parties intégrantes ont vraisemblablement beaucoup de peine à se désunir; mais quand elles sont une fois désunies, & qu'elles ont pénétré celles de la glace, elles y agissent plus fortement que toutes les autres.

Le sucre ordinaire, qu'on pourroit employer à la congélation artificielle au défaut des autres sels, fait descendre la liqueur du thermomètre de 4 degrés au dessous du point de la congélation; les cendres de bois verd de 3 degrés, l'alun de $1\frac{1}{2}$, & la chaux vive de $1\frac{1}{4}$. Le sel gemme purifié, plus puissant que tous les autres, la fait descendre de 17 degrés*.

Les esprits acides font d'ordinaire plus d'effet que les sels dont ils sont tirés; mais c'est une discussion qui nous écarteroit trop des bornes que nous nous sommes prescrites.

* Exp. de M^{rs} de Reaumur & l'Abbé Nollet,

CHAPITRE VI.

*Si les Sels n'agissent absolument sur la
Glace , pour la fondre , que par leur
dissolution.*

MALGRÉ l'axiome de Chymie , que *les sels n'agissent qu'en tant qu'ils sont dissous*, & quoique cet axiome soit en général très-vrai , j'ai toujours penché à croire , que les sels appliqués à de la glace bien froide , exposée à un air très-froid , & par-là vraisemblablement très-sèche , pouvoient la fondre & y produire du moins une légère sueur ; après quoi la fusion plus complète de la glace & l'action des sels dissous tombent dans le cas ordinaire.

Un célèbre Chymiste *, avec qui je ne me trouvai pas d'accord sur ce point , & qui ne croyoit pas que le principe pût recevoir d'exception , me donne lieu d'en proposer ici le problème.

N'y auroit-il pas dans les sels employés à la fonte de la glace quelques parties volatiles, pénétrantes & incisives, qui s'insinuent dans les interstices de sa superficie , qui en ébranlent mille petits flocons imperceptibles & les font redevenir liquides ? Il n'en faut

* M. Lémery.

pas davantage pour y produire un peu d'humidité : cette humidité dissoudra bien-tôt une partie des sels , & ces sels dissous acheveront la fonte de la glace.

Est-il plus vrai-semblable que la glace la plus sèche en apparence , & dans l'air actuellement le plus froid , conserve toujours autour de sa surface une pellicule d'eau liquide , ou , ce qui revient au même , qu'il y ait essentiellement dans l'eau la plus pure des parties qui ne se gèlent jamais , quelque grand que soit le froid , quelque mince que soit cette pellicule , & quelque favorables que soient toutes les circonstances à la congélation des plus grandes masses d'eau ! Car c'est à cette alternative que se réduit toute la question.

Il est sans exemple que du salpêtre , du sel marin ou du sel ammoniac , appliqués à de la glace ne l'aient pas fait fondre en tout ou en partie , à raison de leur quantité & du temps qu'ils y séjournent. On a vu ci-dessus avec quelles précautions j'en fis l'expérience. Je les redoublai ces précautions , en la répétant plusieurs fois , pendant la longue gelée des mois de Janvier & de Février 1731. De grandes pincettes de fer , & tout ce que j'y employois d'instrumens & de sels , étoient soigneusement & long-temps refroidis à cette gelée , avant que d'en toucher la glace ; la fonte s'en

ensuivoit toujours. M. du Fay, M. Petit Médecin, & un troisième également exercé dans la Physique expérimentale & dans la Chymie, répétèrent chacun en particulier la même expérience, & avec le même succès. Le dernier fit plus ; il appliqua une feuille de talc sur la glace, mit du sel ammoniac par dessus, & la glace qui étoit dessous commença à fondre *. C'est malheureusement ce que je ne puis vérifier dans la saison où je finis cet ouvrage.

Comme nous nous étions tous servis de ce sel dans ces expériences, quelqu'un mit en doute si le sel ammoniac, quoiqu'exposé plusieurs heures d'avance à la gelée, ne retenoit pas toujours assez de chaleur pour causer une petite fonte superficielle à la glace. Pour l'éprouver j'enveloppai la boule d'un thermomètre de ce sel bien pulvérisé, & je l'exposai ainsi à la gelée : mais la liqueur de ce thermomètre s'y arrêta bien-tôt au degré de froid qu'il faisoit alors, les 4 & 5 Février, savoir, à 50 du thermomètre de M. Amontons, qui répondent à 7 ou 8 degrés de celui de M. de Reaumur au dessous du terme de la congélation, si ce n'est qu'elle

* Je n'ose nommer ici cet habile Physicien, de l'Académie des Sciences comme les précédens, parce qu'il ne se souvient plus aujourd'hui de ce fait ; mais j'en trouve la note sur mes mémoires, écrite dans le temps, & je suis bien sûr de ne l'avoir pas écrite à la légère.

me parut descendre un peu plus bas. Je fis par occasion la même expérience avec du sel marin, & avec du salpêtre, & le résultat en fut à peu près le même.

Je laisse maintenant au lecteur à juger si les sels n'agissent absolument sur la glace, pour la fondre, que par leur dissolution.

CHAPITRE VII.

De la propriété qu'ont les Sels de refroidir l'eau où ils sont dissous, sans la glacer.

LES sels dont l'action est très-efficace pour faire glacer l'eau, comme le sel marin & le sel ammoniac, augmentent non seulement la froideur de la glace & de la neige, de la manière que nous l'avons vû, mais encore ces mêmes sels étant dissous à froid dans l'eau en suffisante quantité, par exemple, d'une livre de sel ammoniac ou de nitre sur 3 ou 4 pintes d'eau, ils la refroidissent, au delà même du degré de la congélation, si la froideur de cette eau en approchoit déjà.

Pour bien faire cette expérience, il faut plonger d'abord la boule d'un thermomètre dans l'eau, & l'y laisser jusqu'à ce que l'esprit de vin s'arrête au véritable degré de la froideur de l'eau; ensuite on y jettera le sel

ammoniac ou le sel marin en poudre, on le remuera avec un bâton pour le faire dissoudre plus vite, & l'on verra dans 2 ou 3 minutes l'esprit de vin descendre de 4, 5 ou 6 degrés, plus ou moins, selon le degré de froideur qu'avoit l'eau avant qu'on y eût mis les sels. J'ai presque toujours vu cesser la descente de l'esprit de vin en moins d'un quart-d'heure, après quoi le thermomètre remonte, mais beaucoup plus lentement qu'il n'étoit descendu, en sorte qu'il est près d'un quart-d'heure comme stationnaire.

C'est à cet égard que le sel ammoniac est de tous les sels le plus efficace, & beaucoup plus que le sel marin qui l'emporte sur tous les autres pour refroidir la glace qu'il fond, ou pour la congélation artificielle. Et voilà encore une de ces singularités à remarquer, & une distinction à faire sur l'efficacité des sels considérée sous différens aspects.

L'eau qui a été rafraîchie avec du sel ammoniac, peut servir faute de glace à rafraîchir une bouteille d'eau ou de vin presque autant que la glace, ou même à faire de la glace, comme nous le dirons bien-tôt. M. Lémery le père, dans son Cours de Chymie *, en attribue la découverte à M. Boyle. Cependant je trouve dans le P.

* Dixième édit. *part. 1, ch. 17.*

Kircher *, plus ancien que Boyle, que la coutume de rafraîchir l'eau en été avec du salpêtre, étoit fort établie à Rome de son temps; & il n'y a point d'apparence qu'on n'y eût pas essayé des autres sels. Le vil prix aura fait donner la préférence au salpêtre qui est encore à cet égard plus efficace que le sel marin.

Toutes ces propriétés des sels, & toutes ces irrégularités apparentes doivent cependant être ramenées à la propriété générale que nous leur avons d'abord assignée, de fondre, de diviser, de dissoudre les substances où ils se dissolvent eux-mêmes, mais sur lesquelles ils agissent avec plus ou moins de force, de promptitude ou de lenteur, à raison de leur texture propre, de la grosseur & de la mobilité de leurs parties, relativement à la texture, à la grosseur, à la mobilité des parties & à l'état actuel de ces substances. L'action du sel marin, par exemple, n'est vrai-semblablement si forte & si marquée sur l'eau glacée & solide, & dans les congélations artificielles, que par la grosseur & par le poids de ses parties qui heurtent celles de la glace, qui en détachent ou en séparent de grosses pièces, & y causent des vuides où la matière subtile se dilate & perd considérablement de son ressort: & l'action du sel marin n'est si foible à l'é-

* *Mund, Subterr.* l. 6, s. 2, c. 2, de Nitro.

gard de l'eau pure & dans sa liquidité, que parce que ce fluide lui cède par sa mobilité, & que les particules salines s'y glissent par la simple division, sans y former des vuides si sensibles. Ce sera tout le contraire du sel ammoniac.

Le sucre, qui n'est guère que le sel essentiel du roseau d'où on le tire, le soufre, les cendres même encore chaudes, & généralement toutes les matières qui contiennent une certaine quantité de sel, rafraîchissent l'eau, & font baisser la liqueur du thermomètre qu'on y a plongé, à raison de cette quantité & des principes qui les modifient. Les autres matières, telles que le sable fin, le limon, mêlées dans l'eau, rendent seulement la congélation plus tardive, moins ferme & moins compacte; & l'effet en est d'autant moindre, en général, qu'elles se dissolvent moins dans l'eau, & contiennent moins de sel; car il est peu de matières qui n'en contiennent.

Dans quelques-unes de ces expériences il faut prendre garde à une circonstance accidentelle qui pourroit les rendre équivoques en tout ou en partie. Je veux parler de ce que les Académiciens de Florence appellent *le saut d'immersion du thermomètre* *, ce changement

* *Salto dell' immersione*, &c. p. clxxvij. Voy. une explication plus particulière & le calcul de ce phénomène, *Comment. Ac. Petrop. T. IX, p. 248*, par M. Krafft.

subit qui survient au verre de l'instrument, & qui a lieu, soit en contraction, soit en dilatation, toutes les fois qu'on le plonge dans une liqueur dont la température diffère sensiblement de celle du milieu d'où il sort: car il monte sur le champ dans celle qui est plus froide, & il descend dans celle qui est plus chaude. Il redescend ensuite, ou il remonte, & ce n'est que quelque temps après qu'il s'arrête au véritable degré de la température de l'une ou de l'autre. C'est ainsi, par exemple, qu'une pellée de braise jetée dans de l'eau où l'on plonge sur le champ un thermomètre, en fait d'abord descendre la liqueur de quelques degrés. Je ne voudrois pas répondre, cependant, que la prompte dilatation de la matière subtile contenue dans l'eau, & le passage subit de celle que contient la liqueur du thermomètre dans les interstices élargis de cette eau, ne fussent aussi cause plus ou moins de cette descente. Mais on peut, ce me semble, remédier à cet inconvénient, du moins en partie, en plongeant le thermomètre dans un autre vase rempli d'eau, & plongé lui-même dans l'eau de celui où l'on jette tout-à-coup les sels, les matières réfrigérantes ou *échauffantes*. Car l'eau contenue dans ce vase intérieur, où je la suppose en assez grande quantité, ne sauroit prendre si subitement dans toute sa masse le degré de chaud ou de froid de celle qui l'envi-

ronne dans le grand vaisseau. Le thermomètre qui en occupe le centre ou l'axe, baissera donc ou haussera moins promptement, mais aussi d'une manière moins équivoque par rapport au phénomène dont il s'agit.

La propriété qu'ont les sels & les matières qui en contiennent une certaine quantité, de rafraîchir l'eau où ils sont mêlés, sans la glacer, peut nous aider encore à comprendre comment les exhalaisons terrestres, les salines sur-tout, qui s'élèvent dans un air humide, doivent refroidir sensiblement le temps, en toute saison, & plus sensiblement en été, où elles s'élèvent en plus grande abondance par la chaleur du Soleil. Nous avons expliqué dans la première partie, chap. VIII, & nous le verrons plus particulièrement ici, comment ce refroidissement peut aller jusqu'à produire la congélation.

CHAPITRE VIII.

De la congélation artificielle par le moyen des sels, sans glace.

J'AI douté long-temps que l'on pût faire de la glace par le moyen des sels sans le secours d'une glace étrangère, & je demeure encore persuadé, que lorsque je commençai à travailler sur la glace, personne n'avoit fait geler artificiellement de l'eau sans ce se-

cours ; si ce n'est peut-être quelques gouttes par hasard & sans connoissance de cause. La manière même dont s'y étoient pris les Auteurs qui en parlent, me confirmoit dans ce sentiment. Je trouvois dans M. de la Hire* *que l'on faisoit geler de l'eau déjà très-froide en enveloppant la fiole avec du sel ammoniac tout seul, sans le secours de la neige.* J'en fis l'expérience, qui ne me donna point de glace, comme elle ne m'en devoit point donner. J'en conclus donc que M. de la Hire n'avoit parlé que sur le témoignage d'autrui, que cette *eau très-froide*, & peut-être toute disposée à se geler d'elle-même, avoit, sans doute, induit en erreur des personnes moins éclairées que ce savant homme, ou enfin, qu'on pouvoit bien avoir avancé le fait sur la simple conjecture mal entendue.

La glace que quelques autres imaginoient devoir se faire de la dissolution même du sel ammoniac avec l'eau, ne me fut pas moins suspecte, étant diamétralement opposée à la propriété constante des sels mêlés avec l'eau, d'en empêcher ou d'en retarder la congélation, bien loin de la favoriser. Le hasard de quelque prompte cristallisation & le concours de plusieurs circonstances pourront avoir occasionné une légère

* *Explication des effets de la Glace & du Froid.* Mém. de l'Acad. T. IX, p. 485.

congélation sur quelques gouttes d'eau, comme il étoit arrivé à un très-habile Chymiste* qui faisoit dissoudre du sel ammoniac dans l'eau, mais qui avoue qu'il ne pût jamais revenir à produire de pareille glace, quelque tentative qu'il fit pour cela. Ces gouttes se trouvoient apparemment tout-à-fait dénuées de sel, & environnées de quelques autres qui en étoient chargées, ce qui fit sur les premières un effet semblable à celui du mélange de sel & de glace fondue autour d'une bouteille pleine d'eau, ainsi que je l'ai conçu en expliquant la congélation intérieure des terres par le nitre ou les autres sels dont elles sont imprégnées.

J'étois donc fondé à croire qu'on n'avoit point fait de la glace par ces moyens; mais je ne l'étois pas à présumer que la chose fût impossible ou même si difficile, en s'y prenant autrement, & j'aurois dû raisonner ainsi. Puisque du sel ammoniac pulvérisé & jeté dans l'eau la refroidit, & de plus en plus, selon qu'elle est plus froide, si l'on prend de l'eau déjà refroidie dans ce mélange, & qu'on jette encore dans celle-ci du sel ammoniac pour en refroidir une seconde, & ainsi de suite, on aura donc enfin un mélange de sel & d'eau aussi froid ou plus froid que la

* M. Geoffroy l'aîné, *Observations sur les Dissolutions & sur les Fermentations que l'on peut appeller froides*, &c. Mémoires de l'Académie, 1700, p. 112.

glace, sans qu'il cesse d'être liquide, comme on doit le conclurre de ce qui a été dit dans le chapitre précédent. Donc si l'on plonge une bouteille d'eau pure moins froide que la glace dans ce mélange aussi froid ou plus froid que la glace, elle s'y gélera. Et c'est ainsi en effet qu'on est parvenu à faire de la glace sans glace. Découverte qui peut devenir en bien des occasions & dans bien des pays quelque chose de mieux que curieuse, & que nous devons au célèbre M. Boerhaave *.

CHAPITRE DERNIER.

De la Congélation artificielle sans glace & sans sels. Conclusion de cet ouvrage.

SI l'expérience projetée dans le chapitre V de la Section II, page 229, avec une eau plus froide que la glace & pourtant liquide, a le succès qu'on en peut attendre, on fera de la glace d'une eau moins froide que la glace sans le secours d'une glace étrangère & sans sels: car cette première eau y tiendra lieu du mélange de sel & de glace de la congélation artificielle ordinaire. Ou enfin si par quelqu'un des moyens proposés dans les chapitres VIII & IX de la même Section,

* *Chem. De igne Exp. 4, cor. 4.*

on pouvoit refroidir l'eau de plus en plus & jusqu'au point de la glacer, on feroit encore en ce cas, & d'une manière plus utile, de la glace sans glace & sans sels.

Voilà ce que j'ai cru de plus essentiel à dire sur la Question de la glace. Je me suis assez expliqué dans le discours préliminaire qui sert de préface à cet ouvrage, sur la difficulté de cette question, sur les justes raisons que j'avois de me défier de mes lumières en la traitant, sur la forme systématique dans laquelle je l'ai traitée & sur les systèmes en général, & enfin sur la matière subtile que j'y ai employée & qui fait la base de toute ma théorie sur ce sujet. Je ne suis pas le premier, sans doute, qui ait eu recours à cet agent universel pour rendre raison de la liquidité des corps & de leur transformation en glace; mais personne, que je sache, n'en avoit encore donné à cet égard une analyse exacte. On n'avoit pas démêlé la cause immédiate & générale de la congélation d'avec celles qui ne font que concourir avec elle, en tant seulement qu'elles en augmentent ou qu'elles en diminuent l'action; & sur-tout on n'avoit pas approfondi là-dessus la mécanique des liquides, la manière dont l'équilibre se conserve ou se détruit entre leurs parties intégrantes & la matière subtile intérieure qui leur donne

le mouvement , & l'extérieure dont ils sont immédiatement environnés. C'étoit-là pourtant , si je ne me trompe , le point fondamental de la question ; du moins n'est-ce que par-là que j'ai tenté d'expliquer la formation de la glace & ses principaux phénomènes , sans m'écarter des idées claires de l'étendue , de la figure & du mouvement. Si parmi les explications que j'ai déduites du principe , si parmi les nouvelles vûes que j'ai jetées dans l'ouvrage il s'en trouve quelque une qui mérite d'être adoptée , je ne regretterai point le temps que j'ai donné à ces recherches , persuadé que dans cette manière de philosopher , la plus épineuse , la plus tardive , & , en un sens , la plus hardie & la plus périlleuse , mais à mon avis la plus légitime , les moindres succès nous dédommageront amplement d'une infinité de tentatives inutiles ou téméraires.

F I N.

TABLE

T A B L E

D E S M A T I E R E S.

A

AIR, son action sur la surface des corps. *page 21.*

—— Configuration de ses parties intégrantes. 47.

—— Comment s'opère son refroidissement par les sels. 48.

—— Agité, contribue à la congélation. 51, 225.

—— Tranquille, la retarde. 55, 248.

—— Souterrain, sa température. 60 & suiv.

—— Comment il est rangé parmi les parties de l'eau. 133.

—— Tous les corps en contiennent. 135.

—— N'occupe pas un espace sensible dans l'eau. 138.

—— Perd son ressort dans les substances où il est mêlé intimement. 185.

—— Pourquoi il ne fond

pas si bien la glace que l'eau. 322.

AMMONIAC (sel) Voyez *Sel ammoniac.*

AMONTONS (Guil.) [Obs. & expér.] sur le rapport de la chaleur de l'été avec celle de l'hiver. 57. Comparaison de son thermomètre à celui de M. de Reaumur. 90 & 355.

ANGLE, sous lequel s'unissent le plus souvent les filets de glace lors de la congélation. 113, 144 & suiv.

—— C'est aussi sous le même angle qu'ils s'unissent aux parois du vase qui contient l'eau. *ibid.*

—— Cause de cette inclinaison. 148.

—— Il a lieu dans l'urine congelée. 150. & 152.

ARTIFICIEL (dégel) Voyez *Dégel artificiel.*

ARTIFICIELLE (glace) Voyez *Glace artificielle.*

ATMOSPHÈRES insensibles des corps. xix & 111.

ATTRACTION, comment entendue par Newton. xix.

B

BAROMÈTRE, conjecture sur la cause de ses variations. 76.

— Ses variations presque nulles sur les hautes montagnes. 80.

— Ses variations ne sont guère plus sensibles dans la zone torride. 81.

BARTHOLIN (Erasme) sa dissertation sur les figures de la neige. 164 & 313.

BARTHOLIN (Thom.) son sentiment sur le goût de la glace. 287.

BAYLE (Fr.) [observ. de] sur les corps qui nagent librement sur l'eau. 109.

BELLINI (Laur.) son problème sur l'œuf. 91.

BERNIER (Fr.) comment on rafraîchit l'eau sur la côte de Coromandel. 256.

BERNOULLI (Jean) son expérience sur la poudre à canon. 136.

BILLEREZ (...) sa relation de la grotte de Be-

fançon. 45.

BLEU verdâtre des glaces du nord. 294.

BOERHAAVE (Herm.) son feu élémentaire. xxvij. Croit le mouvement intestin des liquides indispensable. 9. Ce qu'il dit de la chaleur souterraine. 61. Croit que l'expansion est la qualité la plus essentielle au feu. xxviii. 73. Découvre la manière de faire de la glace sans glace. 382.

BORRICHIVS croyoit que l'eau de la mer devenoit douce par la congélation. 287.

BOUGUER (Mr) hauteur de la neige des hautes montagnes du Pérou, & sur le froid excessif qu'il y fait. 79.

BOUILLET (Mr) évaporation des liquides. 16.

BOYLE (Rob.) ses atmosphères insensibles des corps. xix & 111. Sur la chaleur souterraine. 61. Sur la température du fond de la mer. 68. Sur l'air contenu dans l'eau. 138. Sur la pesanteur de la glace. 173. Sur la palingénésie. 303.

BRÈME (Adam de) glaces combustibles. 272.

BULLES d'air qui s'amassent dans l'eau quand elle est proche de la congélation. 117.

— Soulèvent ou rompent même le milieu de la glace déjà formée. 120.

— Sont une des causes de l'augmentation du volume de l'eau lors de la congélation. 126.

BUOT (Jaq.) son expérience, canon de fer. 176 & 266.

C

CALORIFIQUE (parties calorifiques) pures chimiques. 31.

CAMUS (Mr) mines de Fahlun ou de Coperberg. 45.

CANON de fer rompu par la glace. 176 & 266.

Canons de glace chargés à boulet. 278.

CASSINI, (Domin.) étoiles de la neige. 162.

CENTRAL (feu) Voyez *Feu central*.

CENTRIFUGE (force) Voyez *Force centrifuge*.

CHALEUR, ce qui la constitue. 313

Chaleur, rapport de celle de l'hiver à celle de l'été dans le climat de Paris. 57.

Chaleur souterraine, excessive & insupportable à une certaine profondeur. 60.

CHATEAU de glace. 277.

CHILDREY (...) sur la cause de l'allongement de la terre sur son axe. 325.

CLAYTON (Mr) force élastique de l'eau par le feu. 184.

COAGULATION, ce qu'est. 96.

Coagulation, le feu l'opère par la même mécanique que le froid produit la glace. 97.

Coagulation du sang. 99.

— Du lait. 100.

— De la chaux vive, & du plâtre pénétrés d'eau. 101.

— Les corps qui sont susceptibles de coagulation le sont aussi de congélation. *Ibid.*

COHÉSION des parties, ou dureté des corps : hypothèse sur ce sujet. xxij & 20.

CONCRÉTION. 100.

CONGÉLATION, sa cause est invisible. 2.

—— La connoissance de sa cause, suppose celle des liquides. 5.

—— Produite par l'absence d'une partie de la matière subtile. 35.

—— Les sels fossiles y peuvent contribuer. 44.

—— Les vents secs y contribuent aussi. 51.

—— Elle est aussi aidée par la suppression ou diminution des vapeurs chaudes qui s'élèvent du sein de la Terre en vertu du feu central. 55.

Congélation différente suivant la différence des liquides. 85.

Congélation commence aux extrémités du liquide. 108.

Congélation est plutôt retardée qu'accélérée par le repos. 199, 206 & suiv.

—— Si la congélation change le goût de l'eau. 287.

—— Si elle deffale l'eau de la mer. *ibid.*

—— Elle change le goût des liqueurs composées. 290.

Congélation artificielle. 46 & 357.

CONSISTANCE de la glace, 269 & suiv. Voyez aussi *Glace*.

COPERBERG (mines de) ou de Fahlun. 45.

COPERNIC (Nic.) son système du monde & de la gravitation universelle. xiiij.

CORPS contiennent tous une grande quantité d'air. 135.

—— Quels corps gardent le plus leur état de chaleur ou de froideur. 339.

COSSIGNY (M^r) relation de la grotte de Besançon. 46.

CUIVRE jaune, la glace qu'on y applique, s'y fond mieux que sur tout autre métal. 321.

CYRILLO (...) ses observations sur la gelée à Naples plus que douteuses. 240, 242.

D

DÉGEL, ce que c'est en général. 3 & 330.

—— Comment il s'opère. 29.

—— Proprement dit, ce que c'est. 330.

—— Peut être regardé comme l'inverse de la gelée. *ibid.*

— Pourquoi il semble occasionner un redoublement de froid. 332.

— Glace ou neige adhérente aux murailles au commencement du dégel. 338 & suiv.

Dégel artificiel des fruits & des membres gelés. 365.

— Raisons physiques sur quoi il est fondé. 365.

DESAGULIERS (J. Théoph.) 136.

DESCARTES, (René) sa matière subtile. xvij. Sa théorie sur l'hexagonisme des étoiles de la neige. 163. Insuffisance de cette Théorie. 165.

DIGBY (le Chevalier) palingénésie. 303.

DIGESTEUR de Papin. 192.

DISSOLUTION des corps durs dans les liquides, suppose le mouvement des parties de ceux-ci. 7.

DODART (Den.) cause de la perpendicularité des plantes. 75.

DURETÉ des corps. 276.

DUVET (espèce de) dont les glaçons des rivières sont enduits par dessous. 202.

E

EAU, de combien moins volatile que l'esprit de vin. 15.

— Ses parties les plus chaudes montent sans cesse à sa surface. 69.

— Ses parties intégrantes sont probablement oblongues. 107 & 170.

Eau augmente de volume en se glaçant. 122 & suiv.

— En se glaçant rompt les vaisseaux où elle est contenue. 124.

— Dérangement des parties intégrantes de l'eau lors de la congélation. 139.

— Sa force expansive prodigieuse, même sans congélation. 180 & suiv.

— Ses parties intégrantes prises séparément sont compressibles & élastiques. 184.

Eau bouillante, son degré égal de chaleur. 193.

Eau bouillie, si elle gèle plus promptement que celle qui n'a pas bouilli. 187 & 193.

— Sa décomposition
a ij

très-difficile. 192.

Eau qui ne se glace point, quoique plus froide de plusieurs degrés que celui de la congélation ordinaire. 206 & suiv. jusqu'à 220 & 284.

— Si elle peut au contraire se geler, quoiqu'en deçà de la congélation. 232, 239, 246 & 258.

— S'il y a des pays où elle se gèle constamment par un degré de froid moindre que celui de la congélation. 239.

— Si elle peut être refroidie & même glacée par l'agitation de sa masse, ou par l'impulsion d'un nouvel air. 246 & suiv.

— Manière dont on rafraîchit l'eau à Quanton. 254.

— Comment on la rafraîchit sur la côte de Coromandel. 256.

— Arrondie en gouttes, fait sur les plantes l'effet des verres ardents. 300.

— Pourquoi la glace se fond mieux dans l'eau que dans l'air. 322.

— Petiteffe extrême des parties intégrantes de l'eau. 362.

Eau, ne pénètre pas le verre. 363.

— Rafraîchie avec du sel ammoniac. 375.

— Origine de cette découverte. 376.

Eau de vie par la simple congélation du vin. 91.

Eaux fortes ne gèlent point. 95.

E'BULLITION, chasse de l'eau une grande quantité d'air 190.

E'LASTICITÉ du fluide actif répandu dans l'Univers. xxj.

E'lasticité inconcevable sans de petits tourbillons. xxvij.

E'OLIPYLE, comment on le remplit. 206.

E'QUILIBRE de la matière subtile avec les parties intégrantes des corps, expliqué. 26 & suiv.

ESPRIT DE VIN, combien plus volatil que l'eau. 15.

— Quel prodigieux degré de froid il faudroit pour le geler. 89.

Esprit de nitre ne se gèle point. 95.

Esprits acides font d'ordinaire plus d'effet pour la congélation que les sels d'où ils sont tirés. 370.

ETAIN, fond dans le digesteur de Papin. 192.

ETHER *chymique*, son extrême volatilité. 15.

ÉTOILES de la neige, ou flocons sexangulaires. 160 & 313.

—— Idée de Descartes sur ces étoiles. 163.

Etoiles de diverses espèces dans la neige. 313.

ÉVAPORATION des liquides, preuve de leur mouvement intestin. 9.

—— Rapport de l'évaporation de l'esprit de vin à celle de l'eau. 14.

Évaporation dans le vuide. 16.

—— Les solides ne sont pas exempts d'évaporation. 307.

EXPANSION, selon Boerhaave, qualité la plus essentielle du feu. xxviii, 73.

Expansion des particules de l'eau lors de la congélation. 175.

EXPÉRIENCES, leur utilité & leur abus. viij & suiv.

F

FAHLUN (mines de) ou de Coperberg. 45.

FAHRENHEIT (...) ses

expériences sur l'eau & sur la gelée. 207. Son thermomètre rapporté à celui de M. de Reaumur. *ibid.*

FER, expériences de M. de Reaumur sur le fer. 122.

—— Se dilate en se refroidissant. *ibid.*

FERMENTATIONS appelées froides. 381.

FEU central, son existence. 60, 65 & 70.

—— Ses effets sur les eaux de la mer. 66.

—— Ses émanations ont une impulsion sensible. 73.

—— Est probablement la cause de la perpendicularité des plantes. 74 & suiv.

—— Cause des variations du baromètre. 76.

—— Applicable au grand froid des montagnes. 78.

FIGURES ordinaires à la superficie de la glace. 115, 144.

—— Bizarres & singulières. 301.

—— Curvilignes quelquefois tracées sur les vitres par des brins de glace. 342.

—— Examen de ce phénomène. *ibid.*

- nomène. 344.
- FILETS par où commence la glace. 104, 144, 195 & 231.
- Mécanique de leur formation. *ibid.* & suiv.
- Pourquoi les premiers formés sont couchés horizontalement sur la surface de l'eau. 107, 165 & 231.
- Tiennent d'ordinaire par un de leurs bouts aux parois du vaisseau : cause de leur adhésion. 108.
- Cas à excepter. 109.
- Filets*, leur inclinaison par rapport aux parois du vase, & les uns par rapport aux autres. 113, 144 & 195.
- Descriptions des différentes sortes de tissus qu'ils forment. 114 & 145.
- Ressemblent le plus souvent à des feuilles. 115 & 145.
- FLOCONS de neige, arrangement des filets de glace qui les composent. 160, 171, 313.
- FLUIDE actif & élastique de Newton. xxvij.
- Fluide*, ce que c'est en général; en quoi diffère des liquides. 6.
- Peut devenir liquide. 17.
- Expansif est aussi impulsif. 72.
- Tel fluide ne peut pénétrer seul un corps qui y passe mêlé avec un liquide. 363.
- FONTE de la glace, comment elle s'opère. 29 & 319.
- Plus lente que la formation. 323 & suiv.
- Dans quelle progression elle se fait. 327.
- Par où elle commence. 328.
- FORCE centrifuge, seul principe d'élasticité primitive dans un fluide. xxvij. 20.
- Force* d'inertie, ce qu'il faut entendre par ce terme. 24.
- FRIGORIFIQUES (parties)
Voyez *Parties frigorifiques*.
- FROID, ce que c'est. 31.
- Diminue d'abord le volume du liquide en le condensant. 36.
- L'augmente au contraire au moment qui précède la congélation. 122.

— Expérience propre à constater ce fait. 123.

Froid de la glace, n'est pas le plus grand qu'il y ait. 206 & 284.

— Pourquoi le froid semble redoubler lors du dégel. 332.

FROIDEUR de la glace se communique promptement à l'air circonvoisin. 287.

G

GAUTERON (Méd. Secr. de la Soc. R. de Montp.) évaporation de la glace. 308.

GELÉE, sa cause générale. 29.

— Ses causes accidentelles. 43, 51, 55 & 84.

— Peut ne pas agir sur l'eau, quoique refroidie au delà de la congélation. 206 & suiv.

— Si au contraire elle peut arriver par un degré de froid moindre que celui de la congélation. 232 & 246.

— S'il y a des pays où la gelée arrive constamment par un froid moindre que celui de la congélation. 239 & 240.

Gelée, pourroit n'être pas dans notre climat, un effet nécessaire de la vicissitude des saisons. 333.

GENSANE (Mr de) observations sur la température des mines, envoyées par lui. 62.

GEOFFROY (l'aîné, Méd.) sur les fermentations appelées froides. p. 381.

GEOFFROY (Mr) sur les huiles qui se figent. 94. Composition du sel ammoniac. 148. Distingue un grand nombre de sels différens dans l'urine. *ibid* Son observation sur l'eau de fleur d'orange gelée. 290.

GIROMAGNY (mines de). 62.

GLACE, voyez les articles qui la regardent ci-dessus & ci-après, & la table des chapitres.

— Sa formation. 29 & suiv.

— Toujours plus légère que l'eau, & furnage toujours. 124, 196 & 261.

— Palais, murailles, fortifications de glace. 279.

Glacé, jusqu'où elle pénètre dans les terres. 287.

— Ses qualités médica-
nales. 290.

Glaces du nord. 271, 293,
295, 297 & suiv.

Glace, se fond mieux dans
l'eau que dans l'air, ou
même près du feu. 323
& 326.

— Espèce de glace ou
de neige qui se forme
sur les murailles dans
le temps du dégel. 338.

— Erreur sur ce sujet.
341.

Glace artificielle. 46, 357
& suiv.

— Si elle diffère de la
glace commune. 359.

GLACIÈRE, ou grotte de
Besançon. 45.

Glacières. 324.

GLAÇONS des rivières,
ne se forment pas à
leur fond. 194 & suiv.

Glaçons des mers du nord.
271.

Glaçons autour du cercle
polaire. 324.

— Idée de Childrey
sur ce sujet. 327.

GLOBULES du sang,
Voyez *Sang*.

GMELIN (Mr) ses obser-
vations sur le froid ex-
trême de Sibérie. 82.

GODEHEU (Mr) sur la

manière de rafraîchir
l'eau à Quanton. 254.

GRAVESANDE (Guil.
Jaq.) sur l'air contenu
dans la poudre à canon.
136.

GRAVITATION univer-
selle admise par Coper-
nic. xij.

— Comment expli-
quée par Newton. xix.

GRESLE d'été. 260.

Grêle enflammée, imagi-
née par Krantzius. 273.

GOUST de la glace. 287.

GUSTAVE (Charles) rup-
ture de la glace sous
les pieds de 100 Ca-
valiers de son armée.
283.

H

HALES (Mr) son opi-
nion sur les glaçons des
rivières. 198.

HAMEL (J. B du) de
l'excès du volume de
la glace sur celui de
l'eau. 263.

HAUKSBÉE (Fr.) son ex-
périence sur la poudre
à canon. 136. Remar-
ques sur son thermo-
mètre. 242.

HEXAGONISME, confi-
guration fort ordinaire

dans la Nature. 165.

HIRE (Phil. de la) son idée sur la cause de la perpendicularité des plantes. 76. Manière dont on détache du roc les meules de moulin. 182. Sur la réfraction de la glace. 298. S'est trompé sur la congélation immédiate de l'eau par le sel ammoniac. 380.

HIVER, pourquoi en cette saison il fait plus froid qu'en été. 33 & 49.

HOFFMAN (Fréd.) distingue dans l'eau des parties plus subtiles & d'autres plus grossières. 191.

HOMBERG (Guil.) son expérience douteuse sur le volume de la glace. 173. Ses expériences sur la fonte de la glace dans le vuide. 323.

HUGUENS (Chrét.) son expérience sur l'air contenu dans l'eau. 138. Détermine les angles du crystal d'Islande. 155. Son expérience sur un canon de fer rompu par la glace. 176 & 266.

HUILES, quelles sont celles qui se gèlent plus aisément. 95.

I

JACQUES I. Roy d'Angleterre, comment on lui sauva une oreille & un doigt gelés, en y appliquant de la neige. 366.

JALLABERT (Mr) ses expériences sur l'eau refroidie au delà de la congélation. 211.

IMPULSION nécessaire, selon Locke. xx.

l'Impulsion d'un nouvel air sur l'eau, la peut-elle refroidir? 246 & suiv.

—— Pourroit-elle la congeler? 258.

INCLINAISON des filets de glace entr'eux, & par rapport aux parois du vase. Voyez *Angle*.

INERTIE (force d') Voy. *Force d'inertie*.

INTÉGRANTES (parties) Voy. *Parties intégrantes*.

ISLANDE, dureté de ses glaces; & leur combustibilité prétendue. 272.

K

KÉPLER (Jean) son système harmonique & mystérieux. xj.

KIRCHER (Athan.) son sentiment sur le goût de la glace. 287. Connois-

soit le refroidissement de l'eau par le salpêtre. 376.

KRAFFT (Mr) sa relation du palais de glace construit à Pétersbourg. 277. Saut d'immersion des thermomètres. 377.

KRANTSISUS (...) 273.

L

LANTERNE d'osier, usitée à Quanton pour y faire rafraîchir l'eau. 254.

— Si l'on pourroit avec cette machine se procurer de la glace. 258.

LEEUVENHOEK (Ant.) ses observations sur les parties intégrantes du sang. 98 & 154.

LÉMERY (Louis) son expérience sur la grosseur des parties intégrantes des sels. 362. De l'action des sels par leur dissolution. 371.

LIQUEURS (deux) mêlées ensemble, font souvent moins de volume que séparées. 134.

LIQUIDES de différentes espèces à l'infini. 3.

— Leur définition : en quoi différent des fluides. 6.

— Mouvement intestin de leurs parties. 7.

— Réalité de ce mouvement. *ibid.* 11 & 15.

— Leur évaporation en est une preuve. *ibid.*

— Peuvent devenir fluides. 17.

— Ce qui constitue la dureté de leurs parties intégrantes. 21.

— Quelle cause en empêche la dissipation & les fait résister un peu à leur désunion. 23.

— Quels sont ceux qui se gèlent plus difficilement. 86.

— S'il y en a dont la congélation soit impossible. 87.

Liquides spiritueux (les) qui le sont le plus, sont aussi les plus difficiles à geler. 88.

LIQUIDITÉ, sa définition. 6.

— Ce qui l'augmente ou la diminue. 21 & 258.

LOCKE (Jean) ce qu'il dit de l'impulsion. xx.

LUID (Edm.) a mal vu & représenté les congélations urinaires. 153.

M

MACHINE de Papin.

192.

MALEBRANCHE (le P.)

sa matière éthérée & ses
petits tourbillons. xxvj
& 20.MARBRE pétardé, s'exfo-
lie dans la gelée. 177.*Marbre*, résiste à sa rupture
environ dix fois plus
que la glace. 275.MARIOTTE (Edme) air
qu'il tire d'une goutte
d'eau. 137. Sur l'eau
qui a bouilli. 189. Sur
la rentrée de l'air dans
l'eau. 191.MARSIGLI (Ferd. Comte
de) température de
l'eau de la mer. 66.
Profondeur de la mer.
70.MARTENS (Fréd.) sa des-
cription des glaces du
Nord. 271, 288, 293,
295, 301.MARTINE (Geor.) sur la
figure des globules du
sang. 99. Sa table de
comparaison de divers
thermomètres. 207 &
242.MASSE (le repos de) de
l'air ou de l'eau, ses ef-
fets. 220 & suiv. &
258.MATIÈRE subtile; de Des-
cartes. xvij.— De Newton. xix &
xxj.

— Son ressort. 19.

— Cause de la cohésion
des parties ou de la du-
reté des corps. 20.— S'insinue dans les
pores les plus étroits des
corps 21.— Se meut avec moins
de vitesse dans les in-
terstices d'un liquide,
que la matière subtile
extérieure. 24.— Son équilibre avec
les parties intégrantes
des liquides, expliqué.
26 & suiv.— Causes qui dimi-
nuent son activité. 32,
35.— En quelle raison se
peut faire cette diminu-
tion. 38.— Pression de l'exté-
rieure sur le liquide qui
se congèle. 41.— Se meut avec plus
de liberté dans la glace
que dans l'eau. 105,
106, 223, 226.— Se meut différem-
ment dans différentes
substances. 225 &
249.

MER, sa température. 66
& suiv.

— Ne gèle que jusqu'à
une vingtaine de lieues
des côtes. 272.

— S'il est vrai que son
eau se dessale en se gla-
çant. 287.

— Quelles couleurs elle
réfléchit. 296.

MERCURE ne se gèle ja-
mais. 95.

MICHEL du Crest, son
thermomètre. 62. Son
observation sur la glace.
210.

MOLECULES, définition
de ce terme. 19.

MONNIER (Mr le)
[Méd.] ses expérien-
ces sur la fluidité des li-
quides. 14.

MONTAGNE de glace for-
mée à Lyon sur la Saô-
ne. 332.

Montagnes, la plupart des
grandes montagnes ont
été vrai-semblablement
des volcans. 65.

— Froid excessif qu'il
y fait. 79.

— Les variations du
baromètre y sont pres-
que nulles. 80.

MUSSCHENBROEK (Mr)
rapport de la pesanteur

spécifique de l'eau à celle
de l'esprit de vin. 14.
étoiles qu'il a observées
dans la neige. 162. Vo-
lume de la neige. 315.
Cité 192, 209, 236,
&c.

N

NATURE (la) tend à une
espèce d'équilibre & d'u-
niformité. 334.

NEIGE souvent composée
ou parsemée d'étoiles à
six rayons. 160.

Neige commune. 171.

— Les rayons de ses
étoiles sont eux-mêmes
souvent chargés d'autres
petits rayons. 161 &
312.

— Fondue, ne se gèle
ni plus ni moins vite
que de l'eau ordinaire.
189.

— Conjecture sur la
formation de la neige.
259 & suiv.

Neige artificielle. 291.

Neige, ce que c'est que ce
météore. 311.

— A flocons parfaite-
ment symétrisés. 314.

— En tant que glace en
a toutes les propriétés.
315.

— Son volume, *ibid.*

— Sa rareté, son évaporation. 316.

— Son opacité, son goût. 317.

— Ses qualités médicales. 318.

Neige (espèce de) adhérente aux murailles dans les temps de dégel. 338.

NEWTON (Is.) ses expériences d'optique. ix. Sa physique céleste. xiv. Sa lettre à M. Boyle sur les atmosphères insensibles des corps. xix. Son explication de la pesanteur. *ibid.* Son Éther élastique. xxj. Comment il a pu l'entendre. xxvj. Admet tacitement les petits tourbillons. xxvij. Son idée sur la température des planètes souffre restriction. 33. Croit toutes les petites parties des corps transparentes. 292.

NIEUWENTYT (Bern.) ses observations sur la petitesse des parties intégrantes de l'eau. 363.

NITRE répandu dans l'air, cause des gelées. 43.

Nitre, son esprit, ou même sa fumée, fige l'huile d'olive. 49.

Nitre (Esprit de) Voyez *Esprit*.

NOLLET (M. l'Abbé) volume de l'air contenu dans différentes matières. 136. Ses observations sur la glace des rivières. 195. Ses observations sur le refroidissement de l'eau par divers sels. 370.

O

OBLIQUITÉ des rayons du Soleil, rend sa chaleur moins vive. 33.

OBSERVATIONS météorologiques. 336.

— Leur utilité. 337.

OLAUS Magnus, fortifications de glace dans le nord. 379. Épaisseurs qu'il veut qu'ait la glace pour différentes charges. 281.

OPACITÉ, sa cause 292.

P

PALAIS de glace construit à Pétersbourg. 277.

PALINGÉNÉSIE. 302 & suiv.

PAPIN (Mr) son *digesteur*. 192.

PARHÉLIES formés sur des glaces. 298.

PARTIES calorifiques. Voy. *Calorifique*.

Parties frigorifiques , pure chimère. 31.

Parties intégrantes , définition. 18.

PENTAGONISME très-commun dans la Nature. 165.

PERRAULT (Claude) ses observations sur l'obliquité des filets de glace avec les parois du vase. 113. sur l'eau qui a bouilli. 189.

PERPENDICULARITÉ des plantes. Voyez *Plantes*.

PESANTEUR , mécaniquement expliquée par Newton. xix.

PHYSIQUE céleste Newtonnienne. xiv.

Physique proprement dite , roule sur le fini. xxiv.

PLANÈTES , leurs températures peuvent n'être pas aussi différentes de celle de la Terre, qu'on le croiroit par leurs différentes distances au Soleil. 33.

PLANTES , cause de la perpendicularité de leurs tiges. 74.

—— Hexagonisme , pentagonisme , &c. des capsules de leurs graines. 165.

—— Leur prétendue pa-

lingénéfie. 303.

—— Contiennent un sel essentiel. 355.

PLOMB fondu : son degré de chaleur. 193.

POUDRE à canon : observations de plusieurs Physiciens sur l'air qu'elle contient. 136.

PYRITES , leur construction particulière 156.

—— Cette construction n'est pas fortuite. 157.

Q

QUALITÉS sensibles des corps , souvent confondues avec les sensations qu'elles excitent. 30.

R

RAFRAICHISSEMENT artificiel. 377.

REAUMUR (Mr de) ses expériences sur la production du froid par les sels & les esprits acides. 88 & 368. Son thermomètre comparé à celui de M. Amontons. 90 & 355. A observé que le fer se dilate en se refroidissant. 122. La diminution de volume de deux liqueurs mêlées ensemble. 135. Son mémoire sur la nature de la Terre. 180, &c.

RÉFRACTION de la glace.
298.

RÈGLE de Képler, dûe
à son système. xj.

REPOS (le) de l'eau &
de l'air, favorise la li-
quidité. 199, 206 &
suiv.

Repos de masse. 220.

RÉSISTANCE de la glace
à sa rupture. 274.

RESSORT, en quoi il con-
siste. xxvij & 19.

— De la matière sub-
tile. *ibid.*

RIVIÈRES, si les grandes
commencent à geler par
leur superficie, ou par
le fond de leur lit. 194
& suiv.

S

SANCHES (Mr Ant.
Ribeiro) épaisseur de
la glace de la Neva.
277.

SANG, globules qui en
composent la partie
rouge. 98.

— Pesanteur de ses glo-
bules & de sa sérosité.
99.

— Construction de ses
globules. *ibid.* 153 &
168.

— Comment se fait sa

coagulation. 99 & 100.

SATURNE, (Planète de)
reçoit cent fois moins
de chaleur du Soleil,
que notre globe. 33.

SAUT d'immersion du
thermomètre. 377.

SCHEUCHZER (J. Jaq.)
ses observations sur les
neiges des Alpes. 79.
Sur les variations du
baromètre. 80.

SCHWENCKE (Mr) ses
observations sur le sang.
99.

SEINE (la riv. de) son
courant ne gela pas en
1709 à Paris. 202.

SEL ammoniac, fait
promptement fondre la
glace. 356.

— Rapport de ce sel
avec le sel marin pour
le refroidissement de
l'eau. 368.

Sel ammoniac, est en cela
le plus efficace. 375.

SEL marin : mêlé avec
la glace, la refroidit
beaucoup. 368.

— Construction de ses
cubes. 159.

SELS, configuration de
leurs parties intégrantes.
47.

Sels fossiles, vitrioliques,
& de toute espèce, ré-

pandus dans l'air le refroidissent. 374, 45 & suiv.

—— Fondent la glace. 353.

—— Produisent les congélations artificielles par cette fonte. 357.

—— Efficacité de différens sels à cet égard. 367.

—— Grossueur de leurs parties intégrantes. 362.

—— S'ils n'agissent qu'en tant qu'ils sont dissous. 371.

—— Mêlés avec l'eau l'empêchent de geler. 374.

SIBÉRIE, hivers terribles qu'on y éprouve. 82.

SOLEIL, grand réservoir de la chaleur. 32.

—— Causes qui peuvent affoiblir l'action de ses rayons. *ibid.*

SOLIDES, se dissipent moins vite que les liquides. 307.

SPIRITUEUX. Voyez *Liquides spiritueux.*

SUBTILE. Voyez *Matière.*

SUCRE, refroidit l'eau. 370.

SYSTÉMATIQUE (esprit) ix.

SYSTÈMES, utilités & abus des systêmes. vj. & suiv.

Système de Képler. xj.

—— De Copernic. xiiij.

T

TAITBOUT (Mr) Consul de France à Naples, ses observations météorologiques. 244.

TEMPÉRATURE des planètes pourroit n'être pas bien différente de celle de la terre. 33.

TÉNACITÉ de la glace. 275.

—— Des corps en général n'est pas la même chose que leur dureté. 276.

TENDANCE des filets de glace à former entr'eux des angles de 60 degrés. 113, 144, 160 & 169.

THERMOMÈTRE (effet du vent sur le) 54 & 249.

Thermomètre de Farenheit, rapporté à celui de M. de Reaumur. 207.

—— D'Hauksbée. 242.

TOURBILLONS (petits) tacitement admis par Newton. xxvij.

TRANSPARENCE, de la glace. 291.

—— Naturelle aux petites parties de tous les corps. 292.

TREMBLEMENS de terre, leur cause. 65.

TRIEWALD (Mr) son observation sur de l'eau exposée à la gelée, où elle ne gela pas. 209.

V

VAPEURS chaudes qui s'élèvent de la terre, leur suppression ou diminution contribue à la congélation. 55 & 84.

Vapeurs enfermées, leur force à se dilater. 184.

—— Conjecture sur leur refroidissement dans l'atmosphère. 259.

VARIGNON (P.) son expérience sur l'adhérence de la glace aux autres corps solides. 275.

VENTS secs contribuent à la congélation. 51.

—— Effet du vent sur le thermomètre. 54 & 249.

Vents moins réglés dans la zone tempérée que dans la torride & les polaires. 335.

VERRE, son affinité avec

l'eau. 109 & 226.

VILLUZKA (mines de sel de) leur température. 64.

VIN, eau de vie qu'on en tire par la congélation. 91.

VOLCANS, leur cause 65.

—— La mer en a comme la terre. 71.

VOLUME, augmentation de celui de l'eau pendant la congélation. 122 & suiv.

—— Causes de cette augmentation. 126, 139 & 169.

—— Quelle cause y concourt plus puissamment. 172.

—— Celui de deux liqueurs mêlées ensemble, est souvent plus petit que la somme des deux liqueurs séparées. 134.

—— De la glace. 261 & suiv.

—— S'il augmente encore après qu'elle est formée. 265.

—— Des glaçons des mers du nord. 263.

VOSSIUS (If.) son opinion sur la transparence. 292.

URINE, contient différens sels. 148.

xx TABLE DES MATIERES.

— Ses congélations.
150 & 152.

W

WALLER (Mr) ses expériences sur l'évaporation des liqueurs dans le vuide. 16.

Z

ZONE, pourquoi dans la glaciale il fait plus froid

que dans la torride. 33.

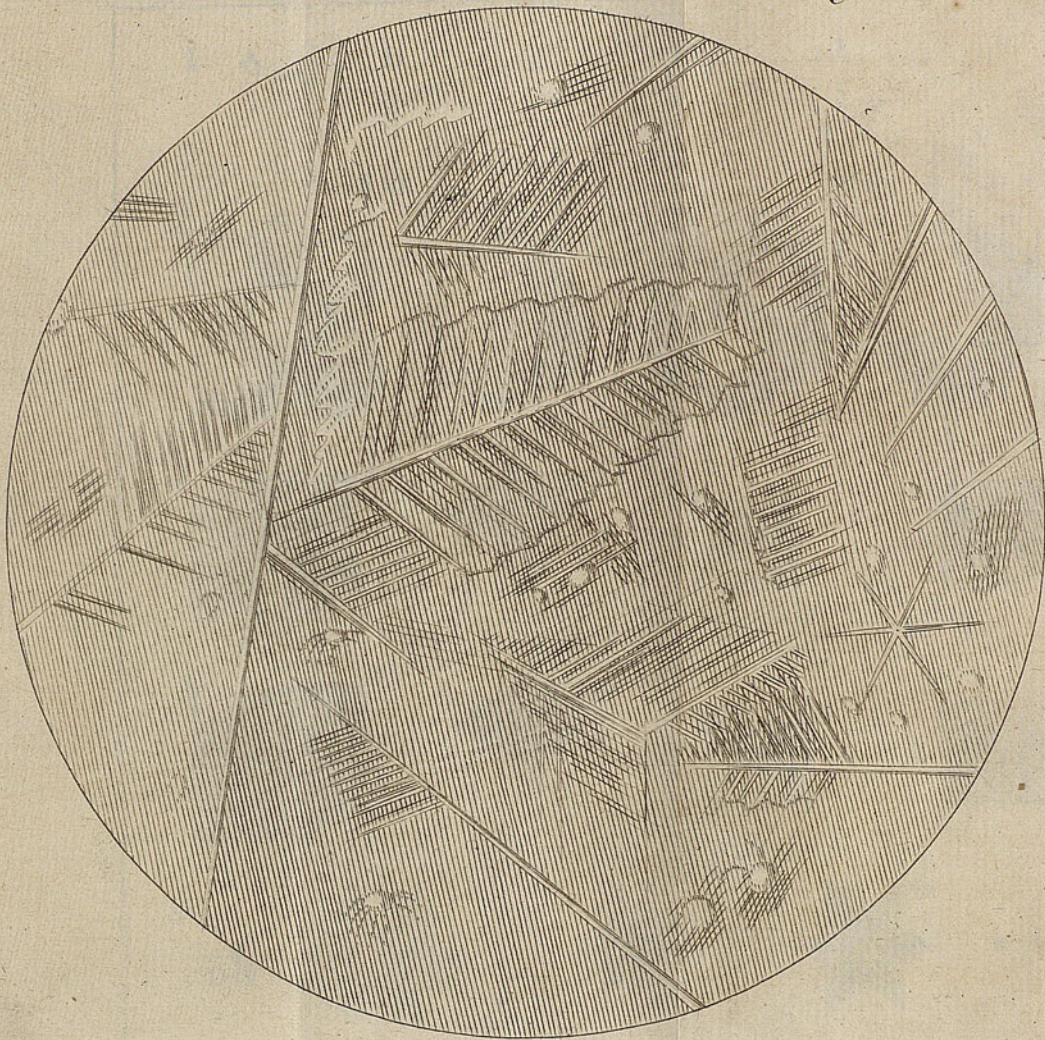
— Torride: sa surface plus éloignée du centre de la Terre que celle des Poles. 81.

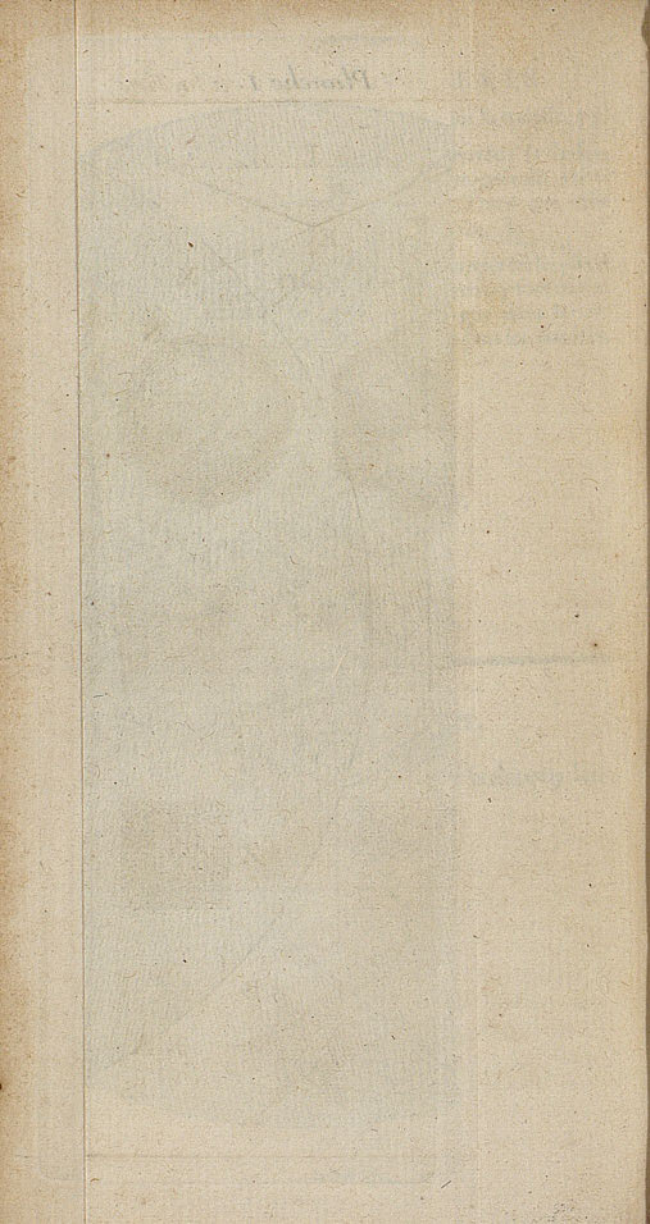
— Tempérée: les pluies & les vents y sont moins réglés que dans la torride & dans les polaires. 335.

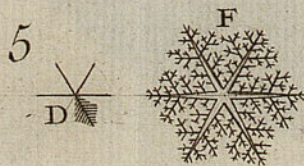
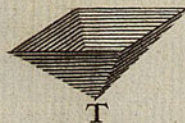
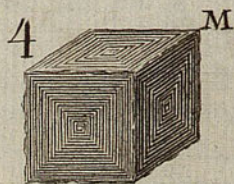
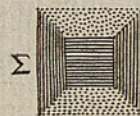
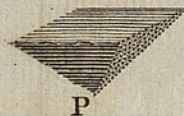
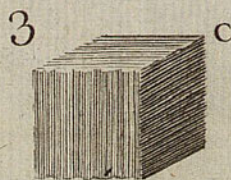
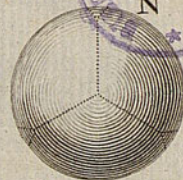
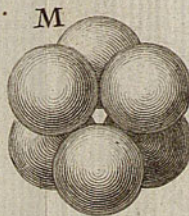
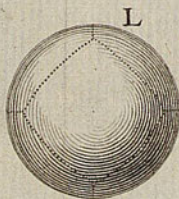
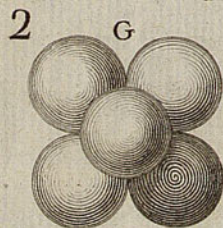
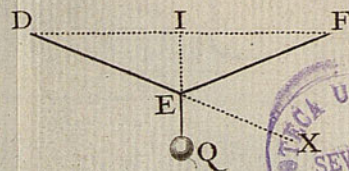
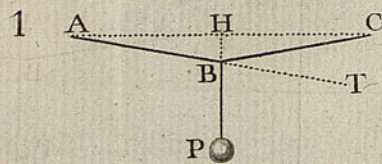
Fin de la Table.

Faute à corriger.

Page 287, ligne 5, au lieu de beaucoup loin, lisez beaucoup plus loin.







*A

△

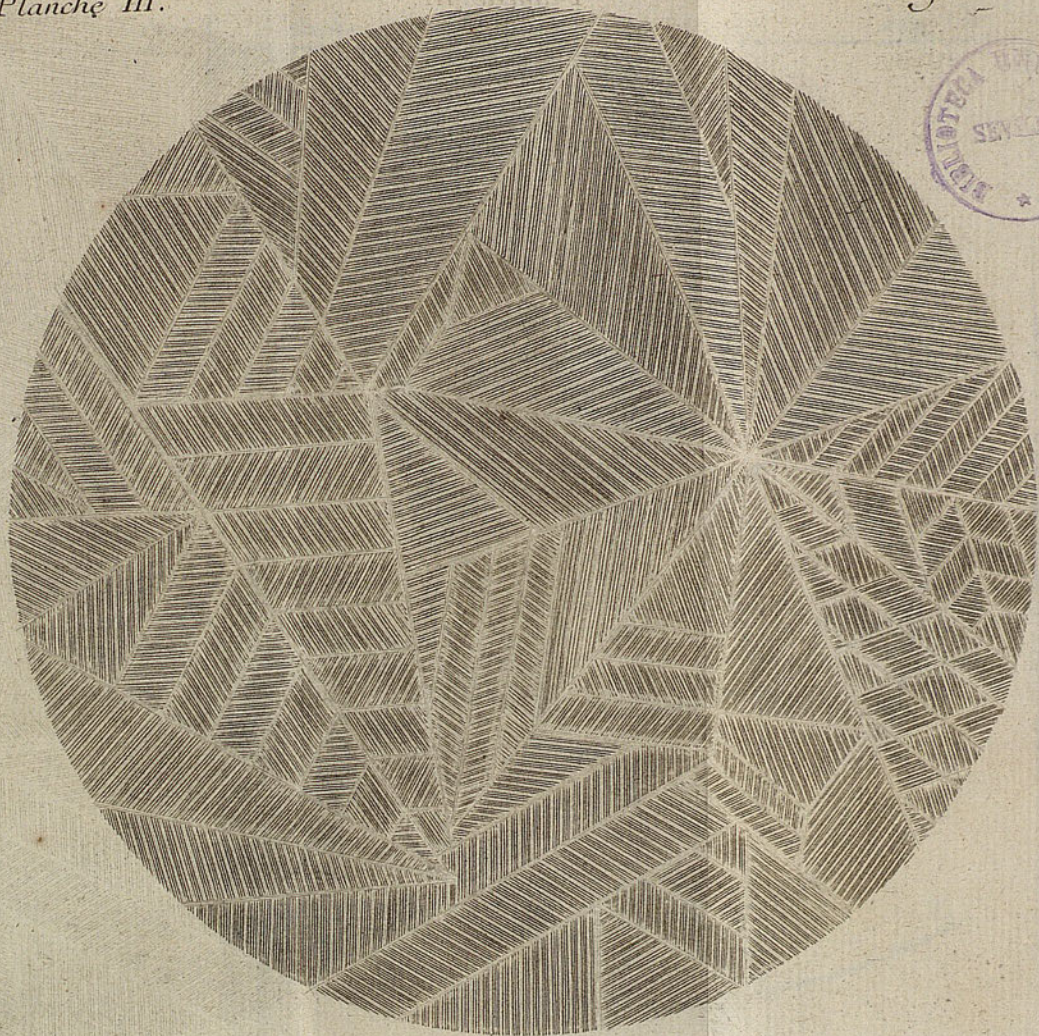
3

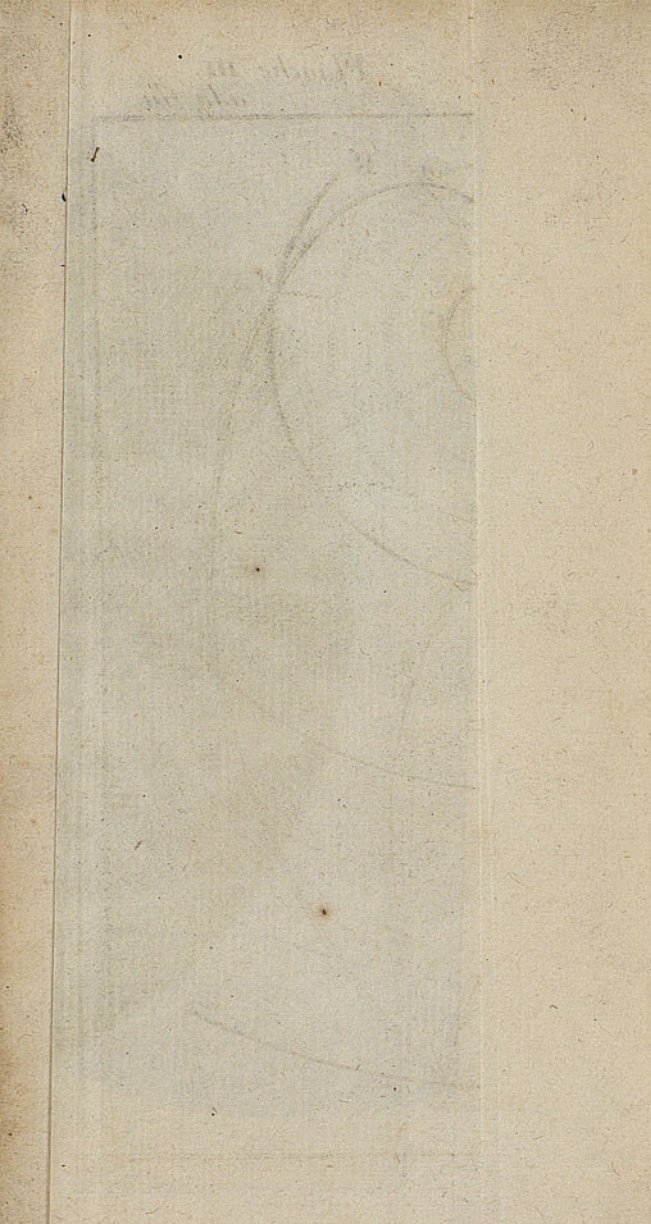
3

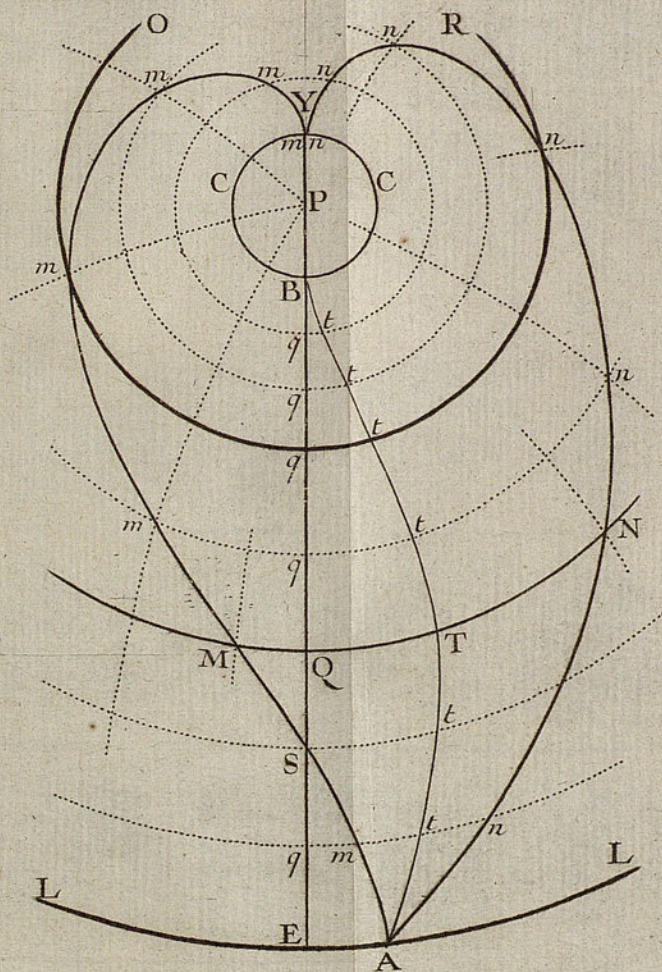
4

3

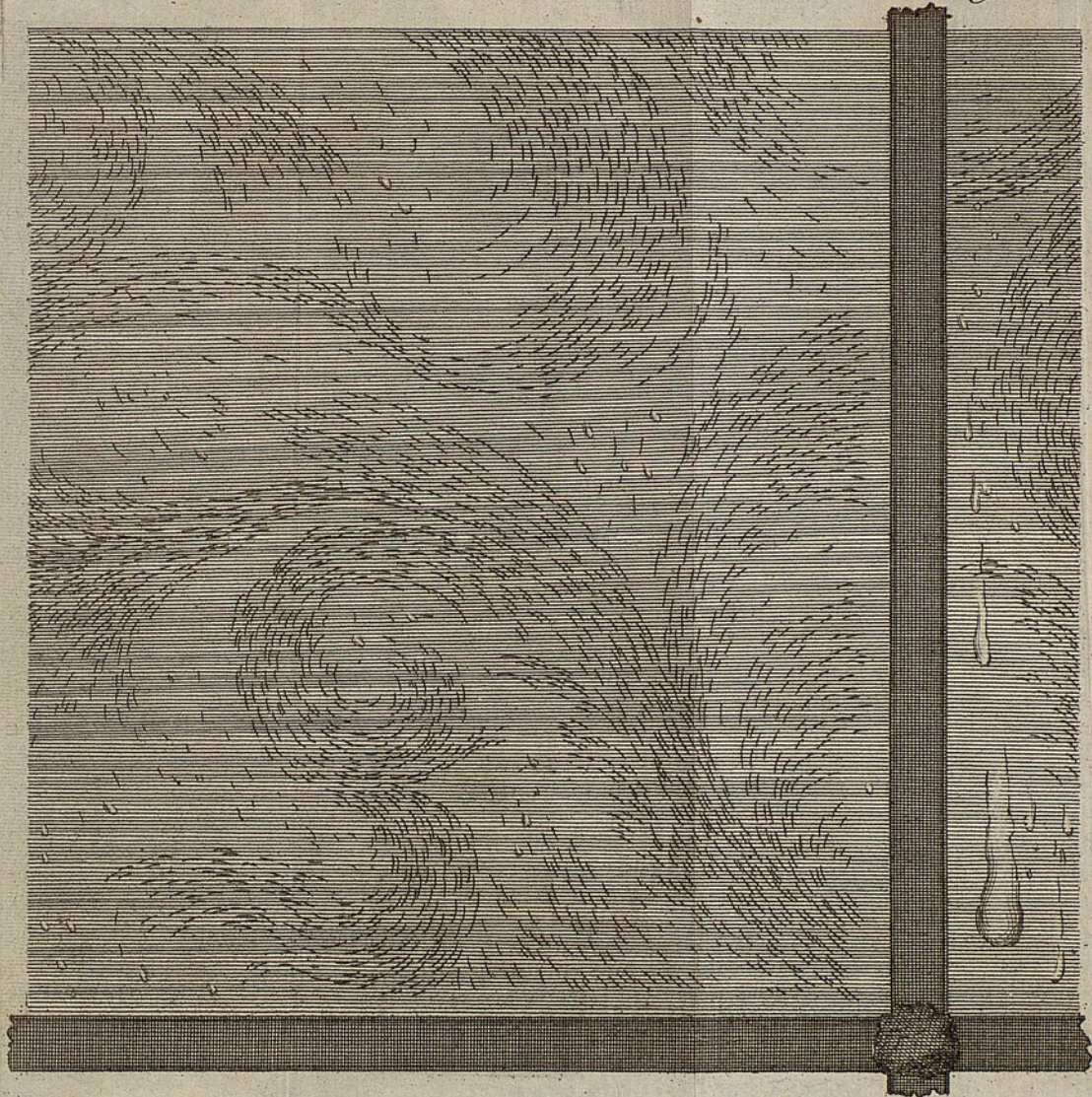
△

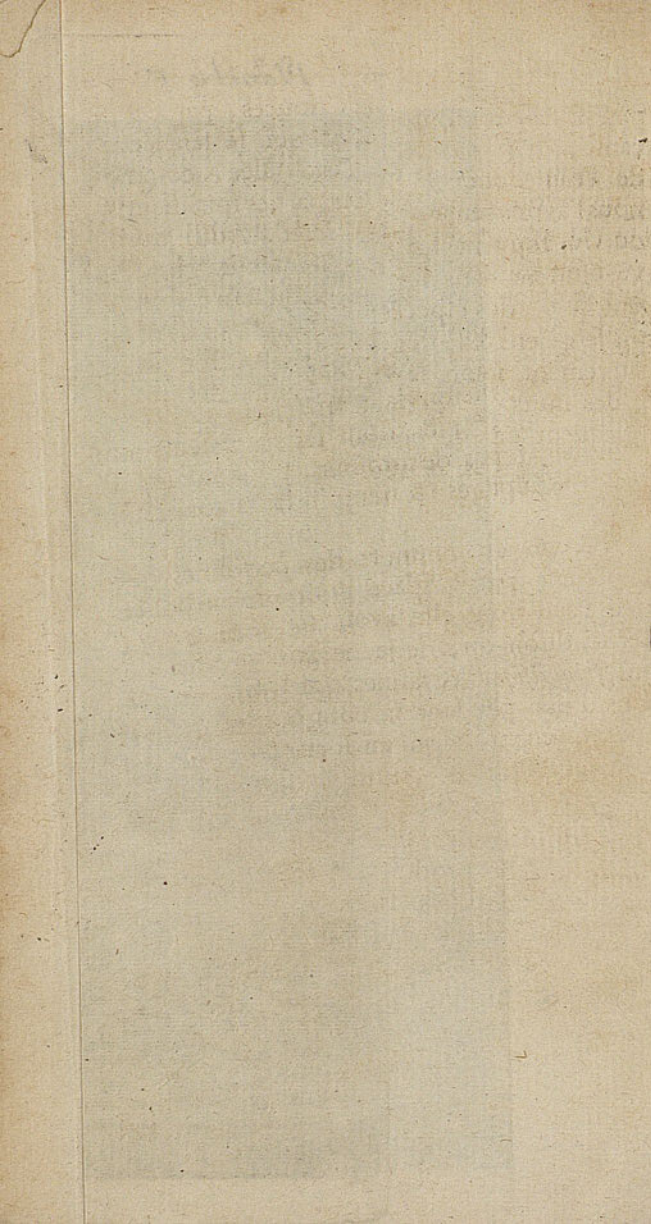


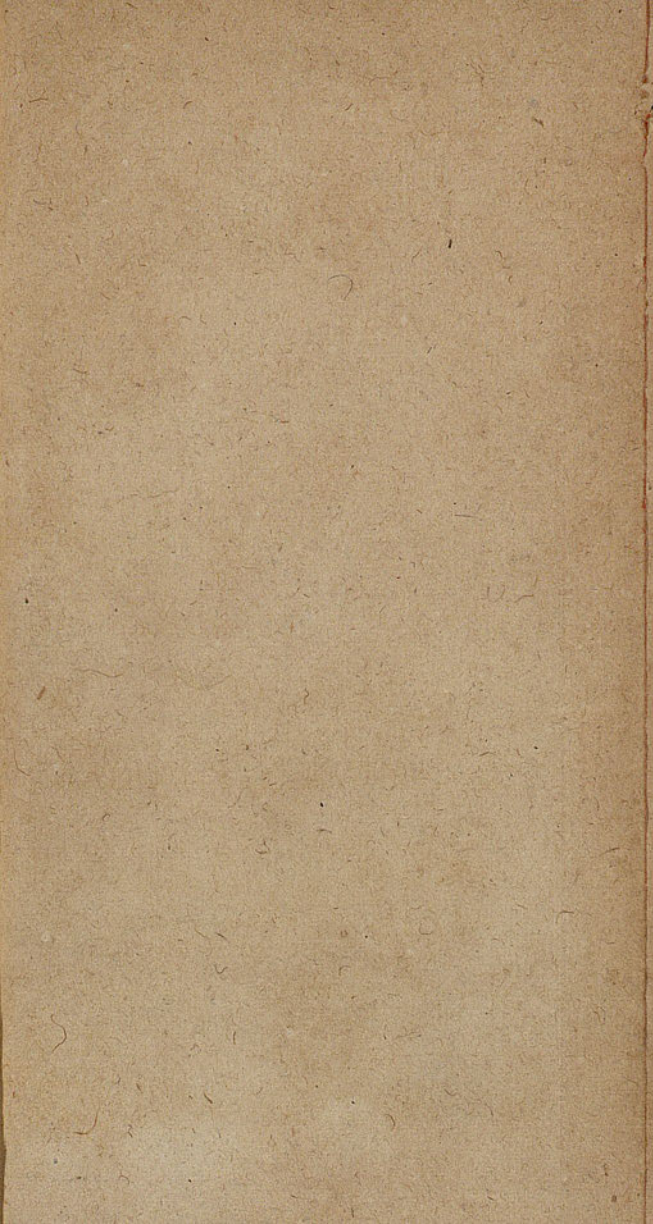


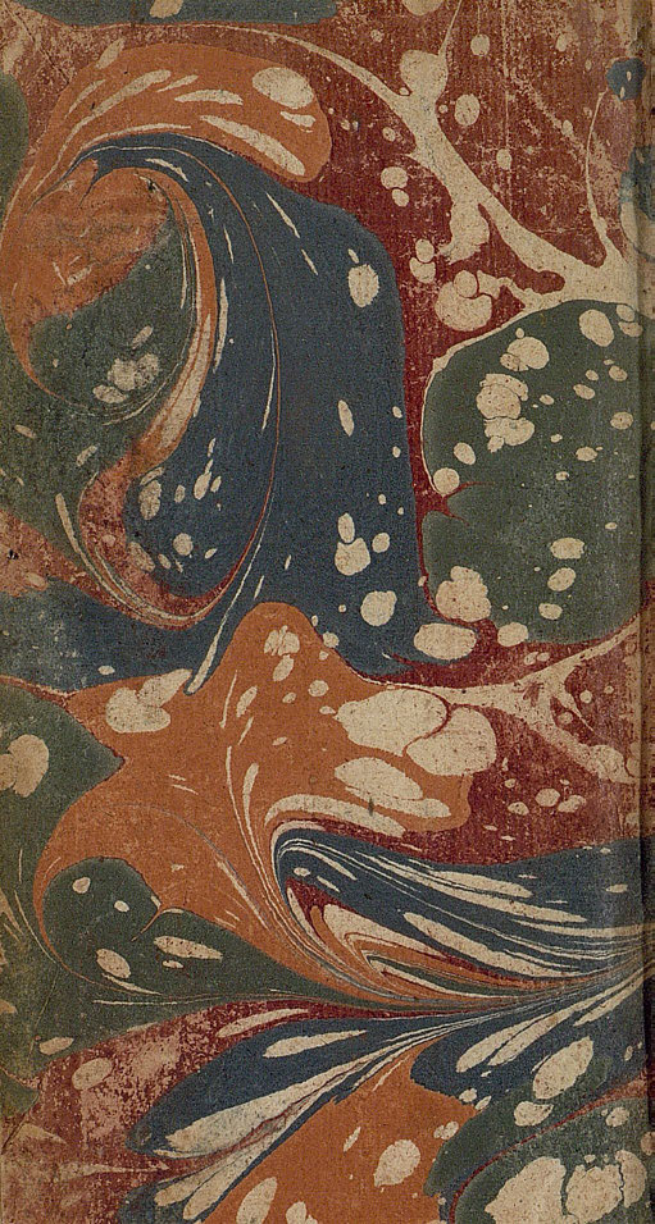














78

DISSENT
A
AGE

22